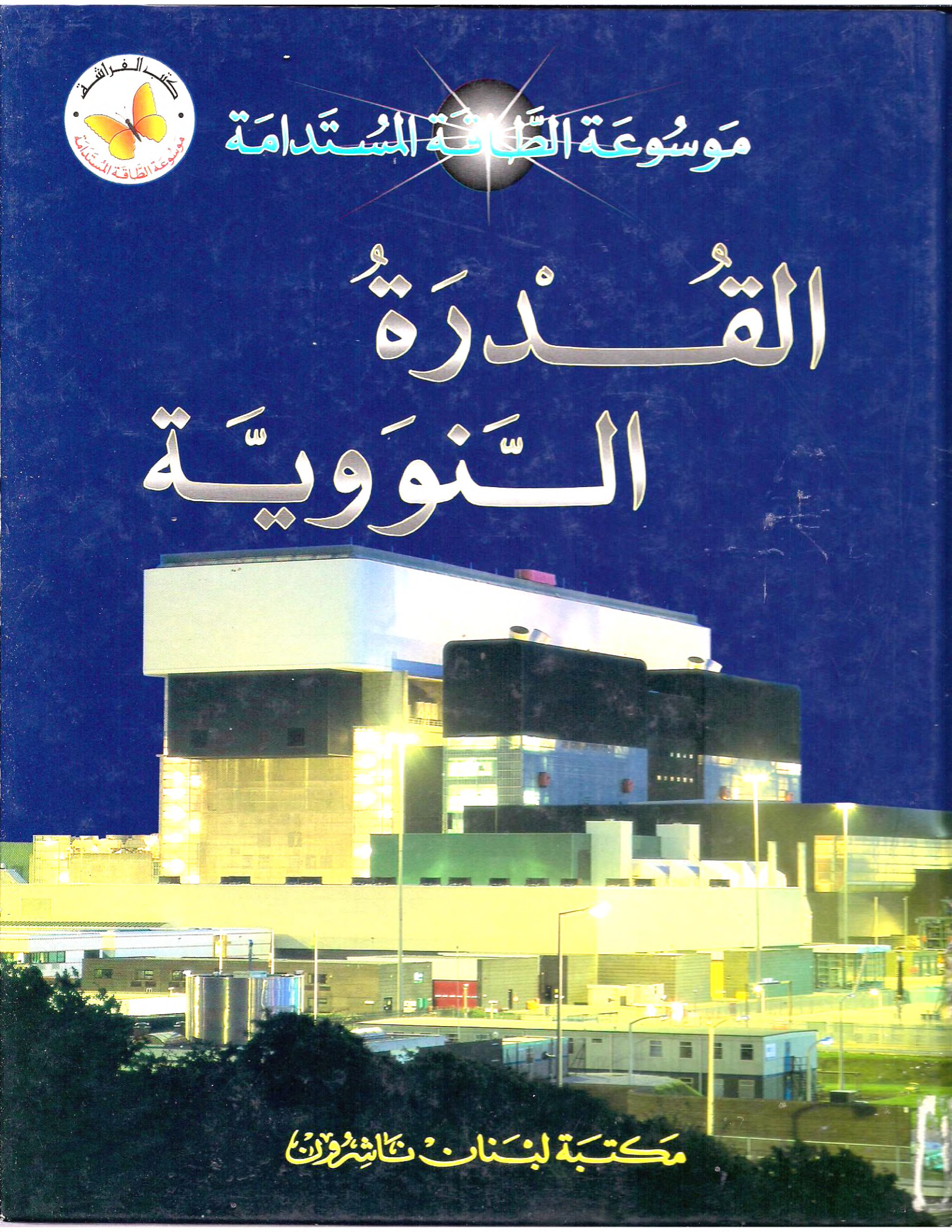
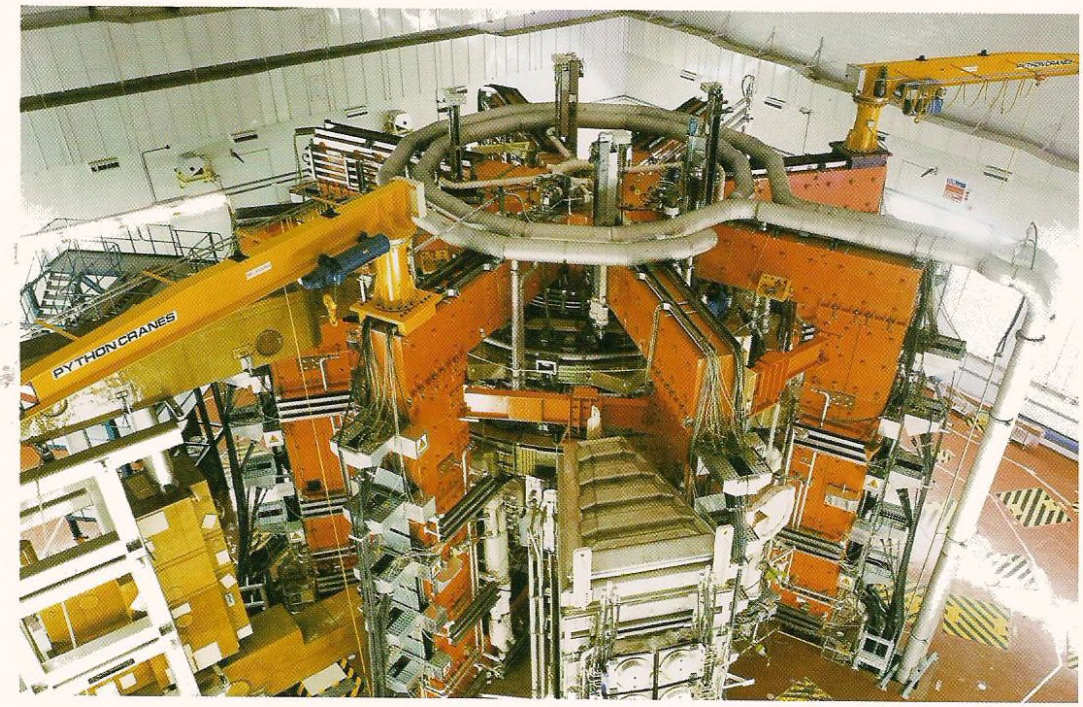

كتب الفراشة
موسوعة الطاقة المستدامة
موسوعة الطاقة المستدامة
القُدْرَةُ
النَّوَوِيَّة
مكتبة لبنان ناشرون

مَوسُوعَة الطَّاقَة المُستَدامَة

القُدْرَةُ النَّوَوِيَّة



إعْداد

أحمَد شفيق الخطيب

يوسُف سُليمان خَير الله

رَئيس التّحرير

أحمَد شفيق الخطيب

مَكتَبة لبنان نَاشِرُون

المُحْتويات

ماهيَّةُ القُدْرةِ النَّوَويَّة	4
تاريخُ القُدْرةِ النَّوَويَّة	8
تَسْخيرُ القُدْرةِ النَّوَويَّة	12
اِستِخْداماتُ القُدْرةِ النَّوَويَّة	28
مُسْتَقْبَلُ القُدْرةِ النَّوَويَّة	42
مَسْردُ التَّعْريفات	46
مَعْلوماتٌ إضافيَّة	47
الفِهْرسُ العامّ	48

مَوسُوعَة الطَّاقَة المُستَدامَة

فِي هٰذِهِ السِّلسِلة

- الوَقُودُ الأُحفوريَّة
- القُدرَةُ الشَّمسِيَّة
- القُدرَةُ النَّوَويَّة
- الطَّاقَة الحَرارِيَّة الأرضيَّة وَالطَّاقَة الحَيَويَّة
- قُدرَة الرِّيَاح
- القُدرَة المَائِيَّة

حُقوق الطبْع © مَكتَبَة لبنَان نَاشِرُونَ شرلم - الطبعَة العَرَبيَّة
حُقوق الطبْع © ويلانْد ليمِتد - الطبعَة الإنكْليزيَّة

جَميع الحقُوق مَحفوظَة : لا يَجوز نشْر أيّ جُزء مِن هٰذا الكِتاب أو تَصويره أو تخزينه أو تَسجيله بأيّ وَسِيلَة دُونَ مُوَافَقة خَطيَّة مِن النّاشِر.

مَكتَبَة لبْنَان نَاشِرُونَ

www.ldlp.com

صُندوق البَريد 9232-11
بَيروت - لبْنَان
وُكَلاء وَمُوَزِّعونَ في جَميع أنحَاء العَالَم

الطّبعَة الأولى 2002
طُبِع في لبْنَان

ISBN: 9953-1-481-6

ماهيَّةُ القُدْرةِ النَّوَويَّة

تَمْهيد

قُرابةُ خُمْسِ الكهرباء في العالَم يُنْتَجُ حاليًّا بمَحطَّاتِ قُدْرةٍ نَوَويَّة. هذه القُدْرةُ مَصْدرُها الطاقةُ المُخْتزَنة داخلَ نَواةِ الذَّرَّة. الذرَّاتُ صَغيرةٌ جِدًّا - فهي أصغَرُ من أن تُرى حتَّى بواسطةِ أقوى المَجاهِر؛ لكِنَّها تُؤلِّفُ كُلَّ شيءٍ في العالَم من حَولِنا. تتألَّف النَّواةُ، التي هي مَرْكزُ الذرَّة، من جُسَيْماتٍ أصغَرَ تُسَمَّى بروتونات ونيوتْرونات. وعَددُ البروتونات في النَّواةِ الذرِّيَّةِ يُمَيِّزُ العناصِرَ المُختلِفةَ بعضَها عن بَعْضٍ. فَذرَّةُ الهِدْروجين، العُنْصرِ الأخفِّ بين جميعِ العَناصر، تَحْوي بْروتونًا واحدًا فقط في نَواتِها - فيما تَحْوي ذرَّةُ اليُورانيوم - العُنْصرِ الأثقلِ بين جميعِ العَناصرِ المُتَواجِدة في الطبيعة - 92 بْروتونًا وعدَدًا أكثرَ بكثير من النيوتْرونات.

الاِنْشِطار النَّوَويّ

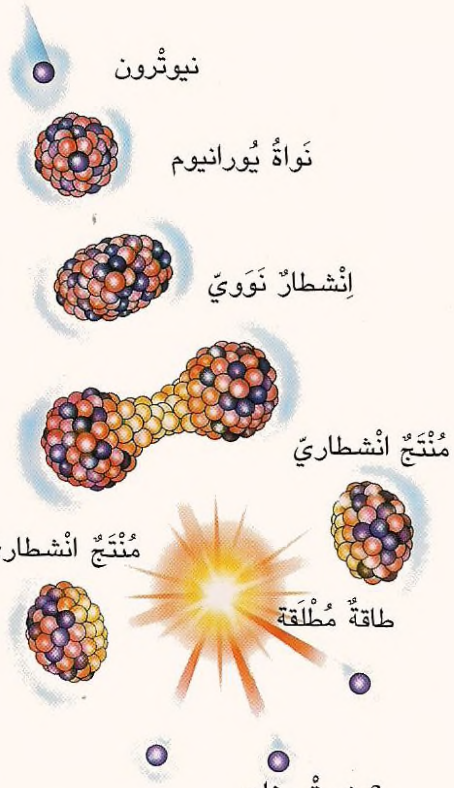
البروتوناتُ والنيوتْروناتُ، مُنْفَصلَةً، أكثرُ كُتْلةً منها مُتَّحِدةً في نَواة. ذلك لأنَّ بعضَ الكُتْلةِ يَتَّخِذُ داخلَ النَّواةِ شَكْلَ «طاقةِ ترابُط» - وهي الطاقةُ اللَّازمةُ لِتماسُك النَّواة وشَدِّ مُكَوِّناتها معًا. وفَلْقُ نواةِ الذرَّة - في عمليَّةِ الاِنْشِطار النَّوَويِّ - يُطلِقُ طاقةَ الترابُط هذه.

الاِنْشِطارُ النوويُّ غير مُمكنٍ في مُعظمِ العَناصِر لأنَّ نَوَى ذَرَّاتِها شديدةُ الترابُط جِدًّا. لكِنَّ بعضَ العَناصر، كاليُورانيوم، تتألَّفُ من ذرَّاتٍ كبيرةٍ غير مُستقِرَّةٍ يُمكِنُ فَلْقُ نَواها بسُهولة. والطاقةُ المُطْلَقةُ الهائلةُ هي مَصْدرُ القُدْرةِ النوويَّة. هذه القُدْرةُ يُمكِنُ استِخْدامُها في توليدِ الكهرباءِ أو لِدَسْرِ الغَوَّاصاتِ والسُّفُنِ أو، في سلاحٍ، لإحداثِ اِنْفِجارٍ هائل.

حَقائقُ ومَعْلومات

دَفْقُ الطاقةِ أو الجُسَيْماتِ المُبتَعَثُ من مَصْدرٍ مّا يُسَمَّى إشعاعًا؛ ومن أمثلَةِ ذلكَ ضوءُ الشَّمْس والأمواجُ الراديويَّة. الإشعاعاتُ قد تكونُ خَطِرةً، بخاصَّةٍ تلك المُبْتَعثةُ من موادَّ كاليُورانيوم - لأنَّ بِمَقْدورها تحويلَ الواحِدِ من العناصِر إلى عُنْصرٍ آخر، كما إنَّها تُتلِفُ الخلايا الحَيَّة.

إلى اليَسار: إذا صَدمَ نيوتْرونٌ بَطيءُ الحَركةِ ذَرَّةَ يُورانيوم، فإنَّ نَواةَ الذرَّة تأسُرُ (أو تمتصُّ) النيوتْرون. وبذلكَ يتخَلْخلُ استِقرارُها فتَنْفلِقُ، ويُسَمَّى هذا اِنْشطارًا نَوَويًّا، تكونُ حَصيلتُه مُنْتَجَيْن انْشطاريَّيْن كبيرَيْن وَثلاثةَ نيوتْرونات ودَفْقًا من الطاقة.



حقائقُ ومَعْلومات

أوائلَ القَرْنِ العِشْرين انْتَبَطَ العالِمُ الألمانيُّ، ألْبِرْت أَيْنشتَيْن، المُعادلةَ الشهيرةَ ط = ك × س^2، حيثُ «ط» هي الطاقةُ الناتجة، وَ«ك» الكُتْلةُ المُتَلاشية وَ«س» سُرعة الضَّوء. هذه المُعادلة تَعْني أنَّ الطاقةَ والكُتْلةَ متكافئتان - بحيثُ يُمكِنُ لِلطاقة أنْ تَتحَوَّلَ إلى كُتْلة، كما يُمكِنُ لِلكُتْلةِ أنْ تتحَوَّلَ إلى طاقة. وبسَبَبِ سُرعةِ الضَّوءِ الهائلة (300 000 كيلومتر في الثانية)، فإنَّ كُتْلةً صغيرةً جِدًّا تُكافئُ كميَّةً هائلةً من الطاقة.

مَحطَّاتُ قُدْرةٍ نَوَويَّةٍ، كهٰذه المَحطَّةِ في هَيْشام، بإنكلترا، تعمَلُ على مَدارِ السَّاعة لتوليدِ ما يكفي من الكهرباء لِسَدِّ اْحْتياجاتِ المنازل والمُؤسَّساتِ التجاريَّة والصِّناعيَّةِ في مِنْطقةٍ شاسِعةٍ حَوالَيها.

عندما يُوجد خامُ اليُورانيوم على مَقْرُبةٍ من سَطْحِ الأرض، فإنَّه يُسْتَخْرجُ بكَشْطِ الطبَقاتِ السَّطحيَّةِ من التُّرْبةِ والصَّخْر وإحداثِ حُفْرةٍ فَسيحةٍ مَكْشوفةٍ في الأرض. هذا النَّمَطُ من المَناجم يُسَمَّى مَنْجمًا سَطْحيًّا أو منجمًا مَكْشوفًا.

حقائقُ ومَعْلومات

يَنْبغي تَعدينُ حوالى 50 000 طُنٍّ من خامِ اليُورانيوم ومُعالجتُها لِلحصولِ على 25 طُنًّا من الوَقُودِ النَّوَويّ. هذه الكميَّةُ من الوَقُودِ الجديد هي تَقريبًا الكميَّةُ التي تحتاجُها مَحطَّةُ قُدْرةٍ نَوَويَّةٍ سَنَويًّا لِتَوليدِ 1000 ميغاواط من الكهرباء.

الطاقةُ التي تُولِّدُ مئاتِ الميغاواطات من الكهرباء داخلَ مَحطَّةِ قُدْرةٍ نَوَويَّةٍ مَصْدرُها آلافٌ من أمثالِ هذه الحُبَيْباتِ الرَّماديَّة الأُسطوانيَّةِ الصَّغيرة (بقُطر 8 ملم وطول 13 ملم) من أُكسيد اليُورانيوم.

مَصادِرُ الوُقُدِ النَّوَويَّة

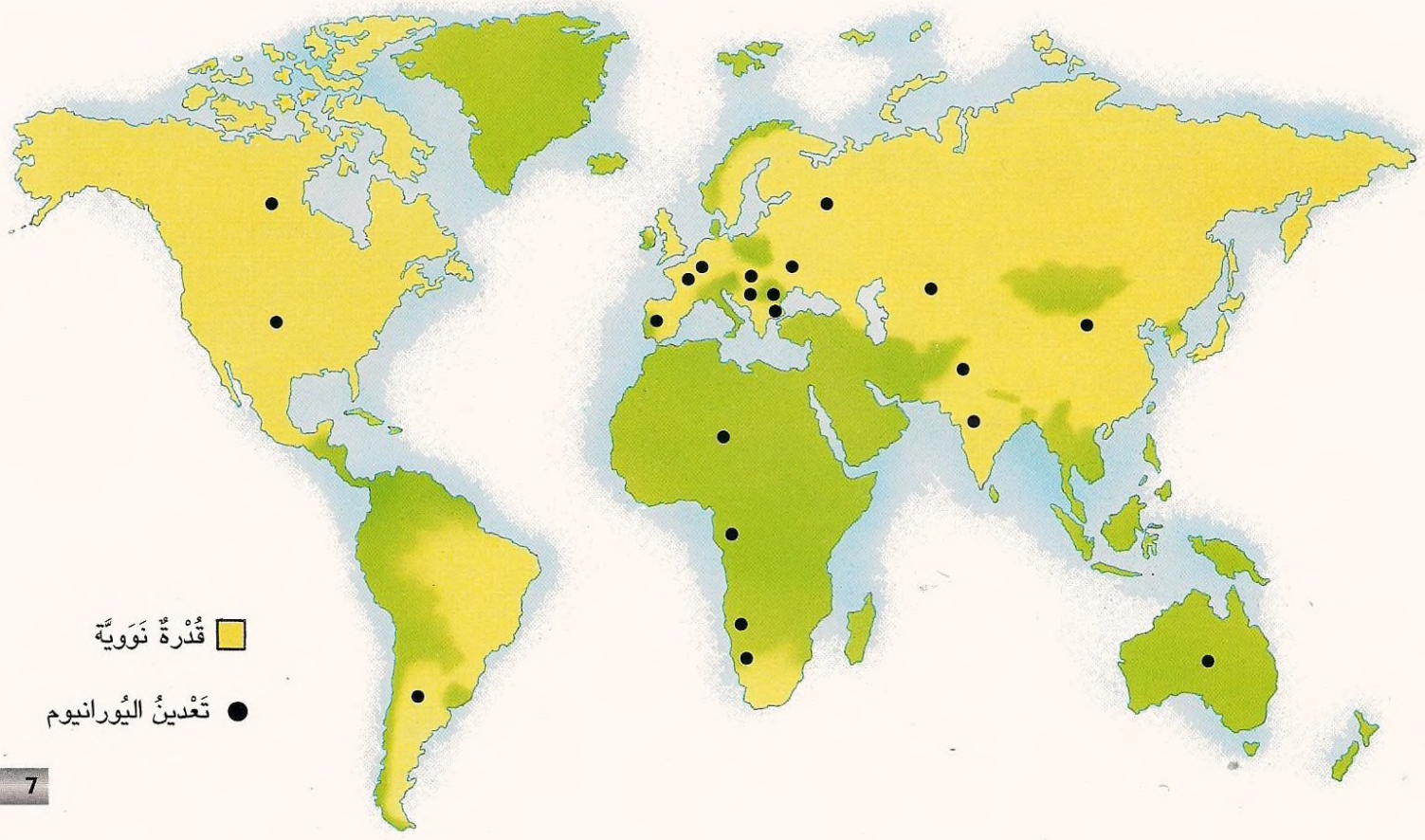
أكثرُ الوُقُدِ النوويَّةِ شيوعًا هو اليُورانيوم؛ وهو عُنْصرٌ فلِزِّيّ يُسْتَخرجُ من القِشْرةِ الأرضيَّة؛ ويُعْتَبر العُنْصُر الـ 48 من حيث نسبةُ الوَفْرةِ بينَ العناصِر الكيماويَّة. ويُعتقدُ أنَّ كلَّ جُسَيْمٍ من اليُورانيوم الأرضيّ كان في ما مَضى جُسَيْمًا داخِل نَجْمٍ؛ وأنَّ اليُورانيوم يتكَوَّنُ عندما يتفَجَّرُ نَجْمٌ ضَخْمٌ يُسَمَّى مُتجَدِّدًا أعظمَ (سوپَرْ نوڤا) - فيُصبحُ شديدَ السُّطُوع. وبتَضاغُطِ النَّوى الخفيفة واندِكاكِها، في قَلْب الإنْفجار، تتكوَّنُ نوًى أثقلَ وتنتَثِرُ عَبْرَ الكَوْن حيثُ تَجْتَرفُها نُجومٌ أُخرى وتَشُدُّها معًا لِتَتراصَّ مُكَوِّنةً كَواكِب.

خاماتُ اليُورانيوم

يتواجَدُ اليُورانيوم على شكلِ خاماتٍ (أو رِكازات) معدنيَّة. وهي مُركَّباتٌ كيماويَّةٌ تتواجَدُ طبيعيًّا وتَحْوي فلِزَّاتٍ، كاليُورانيوم، بكميَّاتٍ كافيةٍ تجعَلُ استِخْراجَها مُجْديًا. إنَّ خامَي اليُورانيوم الأكثرَ شيوعًا هما البِتْشبْلِنْد والكارنُوتَيت. وتتواجَدُ القُراراتُ الأَغْنى في كَنَدا والكونْغُو والولايات المتحدة الأمريكيَّة.

تَحْوي خاماتُ اليُورانيوم ثلاثة أنماطٍ أو نظائرَ مُختلِفةٍ من اليُورانيوم. والنظائرُ هي عناصِرُ تَحْوي في نَواها نفسَ العددِ من البروتونات، لكِنْ عددًا مُختلِفًا من النيوترونات. نَظائرُ اليُورانيوم هي يو 238 وَيو 235 وَيو 234، وتُمثِّل «يو» الرَّمزَ الكيماويَّ لِليُورانيوم. إنَّ أكثرَ من 99% من اليُورانيوم في الطبيعة هو يو 238، مع العِلم أنَّ يو 235 هو نَظيرُ اليُورانيوم الوحيد المُتواجدُ في الطبيعة واليسيرُ الاِنْشِطار النَّوَويّ.

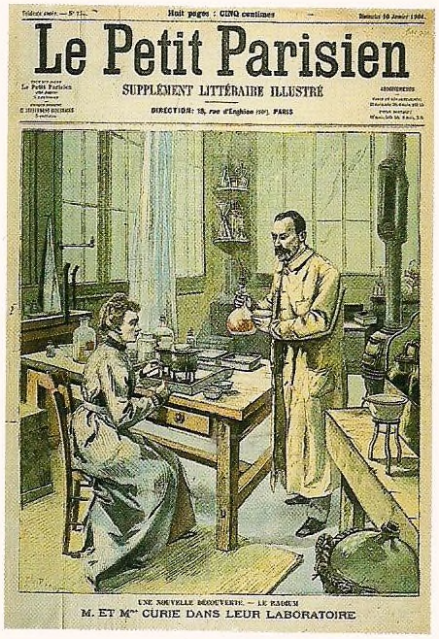
القارَّةُ الإفريقيَّةُ في مُعْظمها غيرُ نَوويَّةٍ بسبَبِ تكاليفِ التِّقانيَّات النَّوَويَّة الباهظة. في أُستراليا قُراراتٌ ضَخْمةٌ من اليُورانيوم، لكِنَّها أيضًا قارَّةٌ غيرُ نَوويَّة، فمُعظمُ طاقتِها تُزَوَّدُ بمَحطَّاتِ قُدْرةٍ تعمَلُ بالفَحْمِ وبمَشروعاتٍ كهرُمائيَّة.



تاريخُ القُدْرةِ النَّوَويَّة

منذُ مَتى استُخْدِمَت القُدْرةُ النَّوَويَّة؟

العالِمُ الفرَنْسيُّ، (أنطوان) هِنري بيكَريل، اكتشفَ الفاعِليَّةَ الإشعاعيَّةَ صِدفةً عامَ 1896. فقد لاحظَ أنَّ لَوحاتٍ فُوتوغرافيَّةً مَحْفوظةً داخلَ أغلِفةٍ حاجِبةٍ للضَّوءِ اسوَدَّتْ كما لو أنَّها تعرَّضت للتظهير بالضوء. وأنَّ البُقْعَةَ المُسْوَدّةَ على الفيلم حدثت في المكان نَفْسِه الذي كانت فيه قِطْعةٌ من الصَّخْر – حاوي اليُورانيوم – تَسْتقِرُّ فوقَ اللَّوحات. فاستَنْتَجَ أنَّ اليُورانيوم ابتَعثَ إشعاعاتٍ على شكلِ جُسَيْماتٍ غيرِ مَرْئيَّةٍ كانت هي السَّببَ في إحداثِ البُقْعةِ القاتِمة. وبعدَ سَنتَيْن، انتَبطت العالِمةُ الفرَنْسيَّةُ البُولونيَّةُ المَولِد، ماري كوري، مُصْطلَحَ الفاعليَّةِ الإشعاعيَّة (أو النشاط الإشعاعيّ) لتَوصيفِ الموادِّ التي تُحْدِثُ مِثْلَ هذا التأثير. ثُمَّ اكتشفَتْ هي وزوجُها پيير أنَّ مَعدنَ البِتْشبلنْد هو ذو نشاطٍ إشعاعيٍّ يفوقُ اليُورانيوم. وتبَيَّنَ لاحقًا أنَّ ذلك عائدٌ لِعُنْصرٍ مُشِعٍّ آخرَ غيرِ مَعْروفٍ سابِقًا، أسمَتْهُ ماري كُوري الرَّاديوم.



اِكتشفَت مارِيا سْكلودُوسْكا، المَعْروفةُ بماري كُوري، (بمُساعدة زوجها الفيزيائي پيير كوري) عُنْصرَيْن مُشِعَّيْن جديدَيْن – هما الرَّاديوم والپولونْيُوم. في عام 1903 مُنحَتْ مع زوجها جائزةَ نوبل في الفيزياء وفي عام 1911، مُنِحَتْ جائزةَ نُوبل للكيمياء تقديرًا لأبْحاثِها الرِّياديَّة.

عندَ اْنْحلالِ ذرَّة اليُورانيوم، تَنْفلِقُ إلى قِسْمَين وتَبْتعِثُ ثلاثةَ نيوتْرونات. فإذا ارتطَمَ أحدُ هذه النيوتْرونات بذرَّةِ يُورانيوم أُخرى فإنَّه يجعَلُها تَنْفلِقُ أيضًا، ويَنْطَلِقُ مَزيدٌ من النيوتْرونات فالِقًا مَزيدًا من ذرَّاتِ اليُورانيوم، وهكذا يَسْتمِرُّ التفاعُلُ المُتَسلْسِلُ مُطْلِقًا، بوَسيلةِ تحَكُّم بالمُهَدِّئات، دَفْقًا مُطَّرِدًا من الطاقة.

لِتَوليدِ الكهرباءِ، يَنْبغي أنْ يُطْلِقَ اليُورانيوم دَفْقًا مُطَّردًا من الطاقة على مَدَى فَتْرةٍ طويلةٍ. هذه العمليَّةُ المُتواصِلةُ تُسَمَّى تَفاعُلًا مُتَسلْسِلًا. الرَّسمُ التذكاريُّ أعلاه يُسَجِّلُ استِعراضَ التفاعُلِ النَّوَويِّ المُتَسلْسِلِ الأوَّل، المُداوَم والمُتحَكَّمُ به، الذي حقّقَه الفيزيائيُّ الإيطاليُّ أَنْريكو فِرمي أثناءَ عمَلِه في جامعة شيكاغو بالولايات المُتّحدة الأمريكيَّة، في كانون الأوَّل (ديسَمْبر) عام 1942.

عِلْمُ النَّوَويَّات

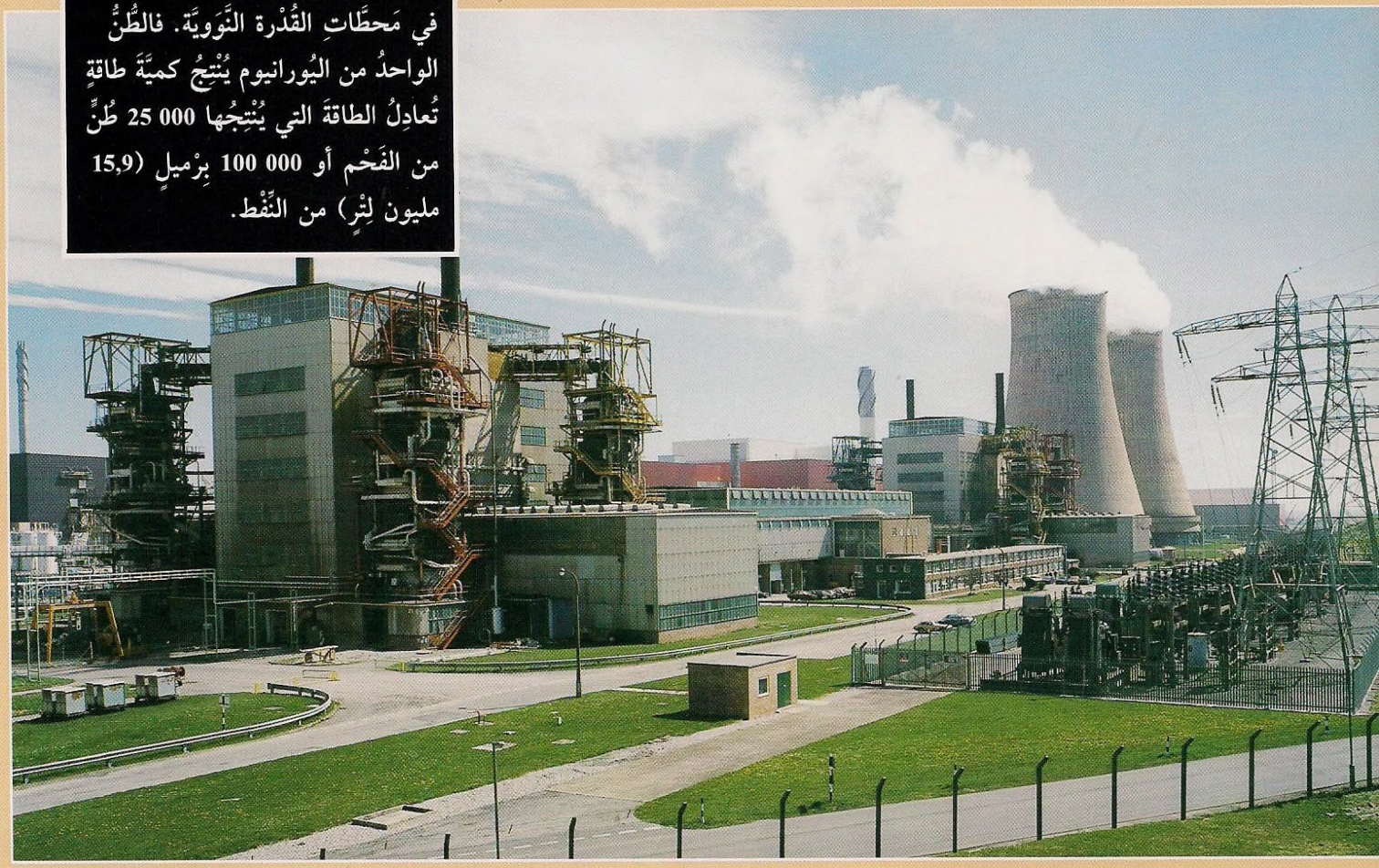
قبْلَ اكتِشافِ النَّشاطِ الإشعاعيّ، كان العُلماءُ يَعْتقدونَ أنَّ الذرَّاتِ هي الجُسَيْماتُ الأَصغَرُ في المادَّة. لكِنَّ اكتِشافَ جُسَيْماتِ أَلْفا وبِيتا المُبتَعِثَةِ من الموادِّ المُشِعَّةِ بيَّنَت خَطأَ ذلكَ الاعْتِقاد. فجُسَيْماتُ أَلْفا هي نَوَى تتألَّفُ واحدتُها من بروتونَيْن وَنيوترونَيْن. أمَّا جُسَيْماتُ بِيتا فهي جُسَيْماتٌ أصغَرُ بكثير تَبْتعِثُها النَّوَى. إنَّ تفكُّكَ النَّوَى (أو انحْلالَها) يتَسبَّبُ بتحَوُّلِ العُنْصرِ إلى عُنْصرٍ آخرَ، في عمليَّةٍ تُسَمَّى الإضْمِحلالَ الإشعاعيّ. وقد أدَّى اكتِشافُ هذا الإضْمِحلالِ إلى ظُهورِ فَرْعٍ جديدٍ من البحث العِلميِّ كانَ من نتائجه إقامةُ مَحطّاتِ القُدْرةِ النَّوَويَّة وصُنْعُ الأَسْلِحة النَّوَويَّة.

حقائقُ ومَعْلومات

أوَّلُ استِخْدامٍ سِلميٍّ عَمَليٍّ لِلقُدْرةِ النَّوَويَّة كان عام 1951، عندما أضحى المُفاعِلُ النَّوَويُّ الاخْتباريُّ في أيداهو فُولْز، بالولايات المتحدة الأمريكيَّة، أوَّلَ مُفاعِلٍ يُوَلِّدُ الكهرباء. ثُمَّ تَلاهُ مُفاعِلٌ آخر في أُوبْنِنْسك، بِرُوسيّا، أنتجَ 100 ميغاواط من الكهرباء عامَ 1955. أمَّا أوَّلُ مَحطَّةِ قُدْرةٍ نَوَويَّةٍ تِجاريَّةٍ في العالَم فقد أُقيمت في كالدِرْ هُول، كمْبرِيا، بإنكلترا. وفي الولايات المتحدة الأمريكيَّة بدأ أوَّلُ نَموذجٍ لِمحَطَّةِ قُدْرةٍ نَوَويَّة بالعَمَل في العام 1957.

حَقائقُ ومَعْلومات

اليُورانيوم هو الوَقُودُ الأكثَرُ استِخْدامًا في مَحطَّاتِ القُدْرة النَّوَويَّة. فالطُّنُّ الواحدُ من اليُورانيوم يُنْتِجُ كميَّةَ طاقةٍ تُعادِلُ الطاقةَ التي يُنْتِجُها 000 25 طُنٍّ من الفَحْم أو 000 100 بِرْميلٍ (15,9 مليون لِتْرٍ) من النِّفْط.



مَحطَّةُ كالْدِرهُول للقُدْرةِ النَّوَويَّة في غَرب كمْبِريا، بإنكلترا، لا تزالُ قَيْدَ التشغيلِ منذُ أكثرَ من 40 سنَة. وهي تضُمُّ أربعةَ مُفاعلاتٍ مُبَيَّتةً داخلَ أُسطواناتٍ ضغطيَّةٍ فولاذيَّة. ويَحْوي كُلُّ مُفاعلٍ 000 10 من قُضْبان وَقُود اليُورانيوم الطبيعيّ.

مُفاعِلاتُ مَجْنُوكْس

كالْدِرهُول، مَحطَّةُ القُدْرةِ النَّوَويَّة الأُولى، تقَعُ في شَمال غَرب إنكلترا. وهي تستَخْدِمُ نَمَطًا من المُفاعلاتِ النَّوَويَّةِ يُسَمَّى مُفاعلَ مَجْنُوكْس. والوَقُودُ المُستَخْدمُ فيها هو اليُورانيوم الطبيعيُّ الذي يَحْوي في مُعظمه يو238 وَ 0.7 % فقَط يو 235 ؛ ويكونُ بشَكْلِ قُضْبانٍ، تُسمَّى عناصِرَ الوَقُود، مُغَلَّفةٍ في أنابيبَ من المَجْنُوكْس - إحدى سبائك المَغْنِسيُوم.

وتُبَطَّأُ سُرعةُ النيوتْرونات المُبْتعَثةِ من الإضْمِحلال الإشعاعيِّ بواسطةِ قوالِبَ من الغرافيت بينَ عناصِرِ الوَقُود. إنَّ تَبْطئةَ سُرعةِ النيوتْرونات يَزيدُ من إمكانيَّةِ ٱمْتِصاصها مِن قِبَل نَظيرِ اليُورانيوم 235 المُتواجدِ في الوَقُود - مِمَّا يتسَبَّبُ بمَزيدٍ من الإنْشِطارات وإطلاقِ مَزيدٍ من الطاقةِ كطاقةٍ حراريَّة.

التحَكُّمُ في مَناسيبِ القُدْرة

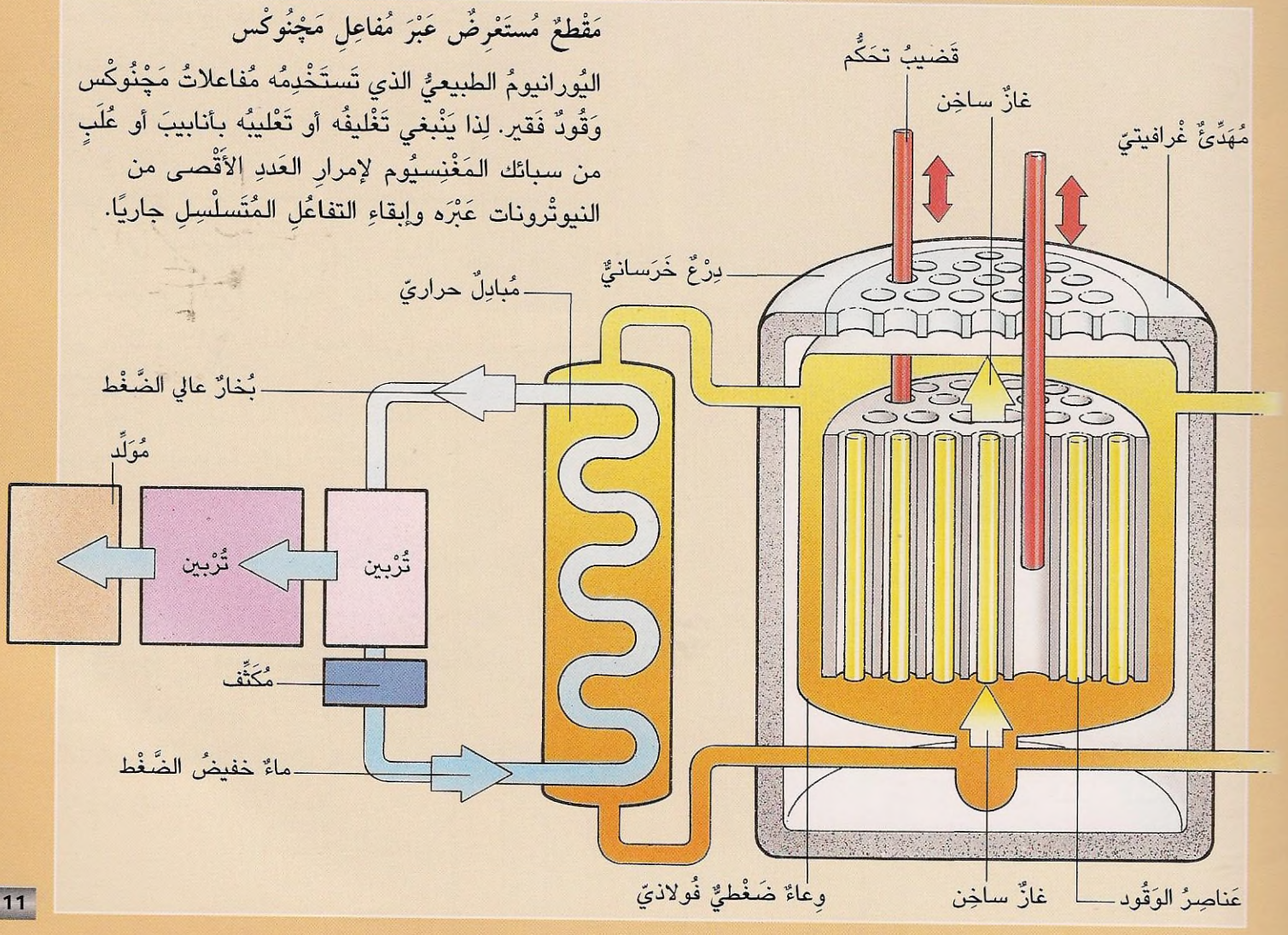
إنَّ سُرعةَ الإنْشِطاراتِ، وبالتالي كميَّةَ الحرارة التي يُنْتِجُها المُفاعِلُ يُمكِنُ تعديلُها بِرَفْعِ أو خَفْضِ قُضْبانِ التحَكُّم بَيْن عَناصِرِ الوَقُود. فقُضْبانُ التحَكُّم هذه تَمْتَصُّ نيوتْروناتٍ وتَمْنعُها من فَلْقِ مَزيدٍ من الذرَّات في الوَقُود. ويَتِمُّ نَقْلُ الطاقةِ من المُفاعِل بواسطةِ المُبَرِّدِ الذي يَمْتَصُّ الحرارةَ من الوَقُود.

المُبَرِّدُ في مُفاعلِ مَجْنُوكْس هو غاز ثاني أُكسيد الكربون الذي يَمُرُّ عَبْرَ المُفاعلِ فيَسْخُنُ، ثُمَّ يَنْقُلُ الحرارةَ إلى الماء. غَليانُ الماءِ يُنْتِجُ بُخارًا، وهذا البُخارُ يُديرُ مُولِّدًا تُربينيًّا - تُرْبينًا مَوْصُولًا بِمُولِّدٍ كهربائيّ.

تقَعُ كالْدرهُول في مَوقِعٍ يَشْتهِرُ باسم سِلَّافيلد. إنَّ فاعليَّةً (كِفاية) مُفاعلاتِ مَجْنُوكْس لا تتعَدَّى الـ 25% بالمُقارنةِ مع فعاليَّةِ مَحطَّاتِ القُدْرة العاملة بالفحْم التي تبلُغُ 35%.

مَقْطعٌ مُستَعْرِضٌ عَبْرَ مُفاعِلِ مَجْنُوكْس

اليُورانيومُ الطبيعيُّ الذي تَستَخْدِمُه مُفاعلاتُ مَجْنُوكْس وَقُودٌ فَقير. لِذا يَنْبغي تَغْليفُه أو تَعْليبُه بأنابيبَ أو عُلَبٍ من سبائك المَغْنِسيُوم لإمرارِ العَددِ الأَقْصى من النيوتْرونات عَبْرَه وإبقاءِ التفاعُلِ المُتَسلْسِلِ جاريًا.



تَسْخيرُ القُدْرةِ النَّوَويَّة

تَحْضيرُ الوُقُودِ النَّوَويَّة

يُعَدَّنُ حوالى 30 000 طُنٍّ من اليُورانيوم سَنَويًّا. وخامُ اليُورانيوم المُستَخْرَجُ من الأرض لا يُمكِنُ استِخْدامُه في مَحطّاتِ القُدْرةِ النوويَّة لأنَّ مُحتَواه من اليُورانيوم قليلٌ جِدًّا – حوالى 2 % أو أقَلّ. لِذا يَنْبغي مُعالَجةُ هذا الخامِ لِاستِخْلاص اليُورانيوم.

يُسْحَقُ الخامُ أوَّلًا ثُمَّ يُذابُ في حامضٍ كيماويٍّ لِفَصْلِ فلِزِّ اليُورانيوم عن المادَّة الصَّخْريَّةِ غيرِ المَرغوب فيها. ثُمَّ يُستَخْلصُ اليُورانيوم من المَحْلولِ الحامضي كمَدَراتٍ صفراءَ من أُكسيد اليُورانيوم تُنْقَلُ إلى وَحَداتِ تَحْويلٍ حيثُ تُحَوَّلُ إلى وَقُود المُفاعِلات – ثاني أُكسيد اليُورانيوم.

وفي عمليَّةٍ بَديلةٍ، تُسَمَّى الاستِخْلاصَ بالمُذيبات، يُثْقَرُ ثَقبانِ بقُطرٍ كافٍ نُزُولًا في طبقةِ الصَّخر حاوي اليُورانيوم. ويُضَخُّ مُذيبٌ في أحدِ الثَّقْبَيْن لِيَتَغَلْغَلَ في شُقوقِ الصَّخر وثُقوبه، فيُذيبَ اليُورانيوم، ويَصْعَدُ بِقُوَّة الضَّخِّ عَبْرَ الثَّقْبِ الثاني حامِلًا معه اليُورانيوم. ثُمَّ يُستَخْرجُ اليُورانيوم من هذا المُذيب.

البلوتُونيوم

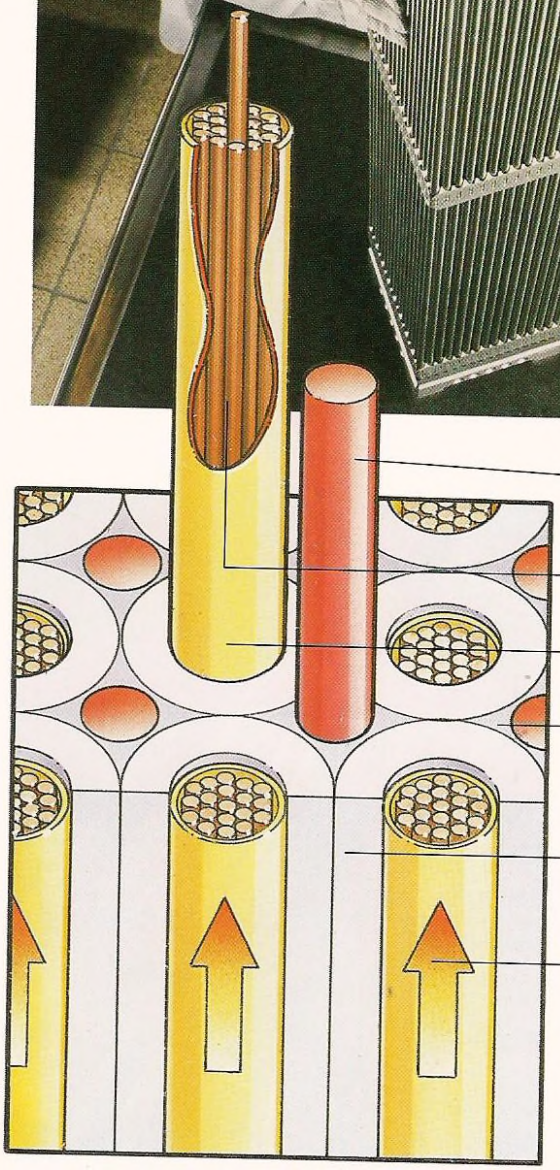
بعضُ المُفاعِلات، وأيضًا بعضُ الأسلِحةِ النَّوَويَّة، تَستَخْدِمُ نَمَطًا مُختلِفًا من الوَقُودِ النَّوَويِّ يُسَمَّى البلوتونْيوم. والبلوتونْيوم نادِرُ الوجودِ في الطبيعة، فمُعْظمُه يُصَنَّعُ داخلَ المُفاعِلاتِ النَّوَويَّة بِقَصْفِ اليُورانيوم 238 بالنيوتْرونات. وهو خَطِرٌ لأنَّه يَبْعِثُ إشعاعاتٍ عاليةَ الطاقة ويَتَمَيَّزُ بتفَجُّريَّةٍ شديدة.

هنا يَكْتَمِلُ العمَلُ على دُفْعةٍ من عُلَبِ الوَقُود التي يَجري إعدادُها لِمُفاعِلٍ من طِراز مَجْنُوكْس. الجُنَيْحاتُ على هذه العُلَبِ تَزيدُ مِساحتَها السطحيَّة كثيرًا – مِمّا يُيَسِّرُ انْتقالَ حرارتِها بِفَعاليَّةٍ أكثَر إلى المُبَرِّدِ المُنْسابِ عَبْرَ المُفاعِل.

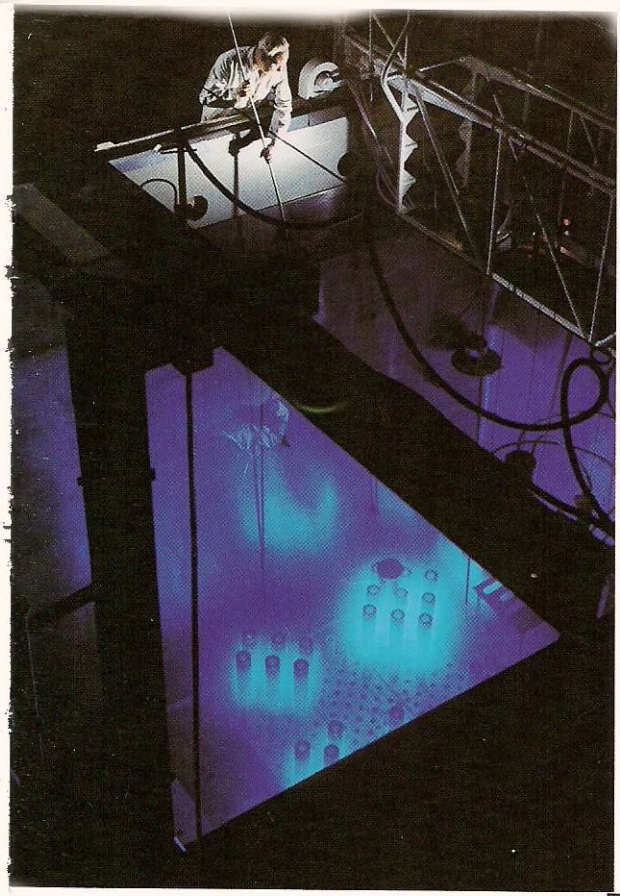
حَقائقُ ومَعْلومات

يُستَخْدمُ البلوتونْيوم كمَصْدرِ طاقةٍ لِنَبائطَ يُفتَرضُ أنْ تكُونَ صغيرةً وخفيفةَ الوَزْنِ ومَوثوقةَ العمل سَنواتٍ عديدة كُلَّ مرَّة. فبعضُ أُولى ناظِماتِ القَلْبِ، التي تَضبِطُ خَفقانَ القَلبِ العليل، كانت تعمَلُ بالبلوتونيوم. كذلك فإنَّ سوابِرَ أعماقِ الفَضاء، كالمَركبة الفَضائيَّةِ كاسيني - هيجنز، المُتَّجهةِ حاليًّا إلى كَوْكبِ زُحَل، مُجَهَّزةٌ بِمُولِّداتٍ كهربائيَّةٍ تعمَلُ بالبلوتونْيوم.

جَميعةٌ من عناصِرِ الوَقُود، لِمُفاعلِ ماءٍ مَضْغوط، في مُعَاينَتِها النِّهائيَّة. الجَميعةُ الواحدةُ تَضُمُّ 298 عودًا من مَراوِد وَقُود اليُورانيوم.



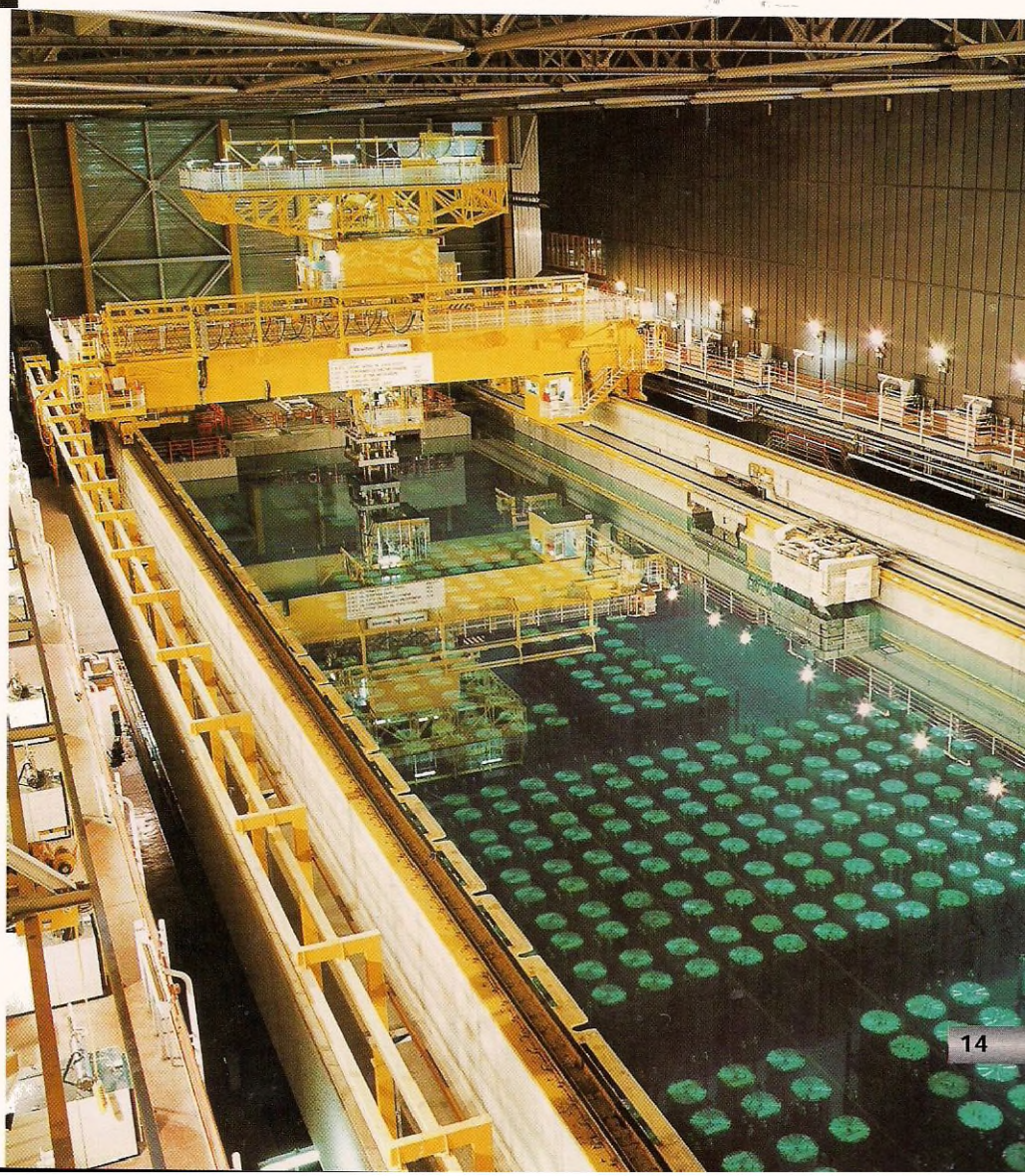
تُعَلَّبُ قُضبانُ الوَقُودِ داخِلَ أنابيبَ أو عُلَبٍ مُبَيَّتةٍ داخِلَ المُهَدِّئ - الذي قد يكونُ الغرافيتَ أو الماءَ العاديّ أو الماءَ الثقيل. إنَّ وظيفةَ المُهَدِّئ هي تبطئةُ سُرعةِ النيوتْرونات بحيثُ تزدادُ إمكانيَّةُ اُمْتصاصِها من قِبَلِ ذرَّاتِ الوَقُود - وبالتالي إحداثُ التفاعُلاتِ الاِنْشِطاريَّة. وفي المُقابِل يُمكِنُ خَفْضُ قُضْبانِ تحَكُّم، من مادَّةٍ كالبورون تَمْتَصُّ النيوتْرونات - داخِلَ قَلْبِ المُفاعِل لِتَبْطئةِ سُرعةِ التفاعُل المُتَسلْسِل.



إعادةُ مُعالَجةِ الوَقُود المُسْتَنْفَد

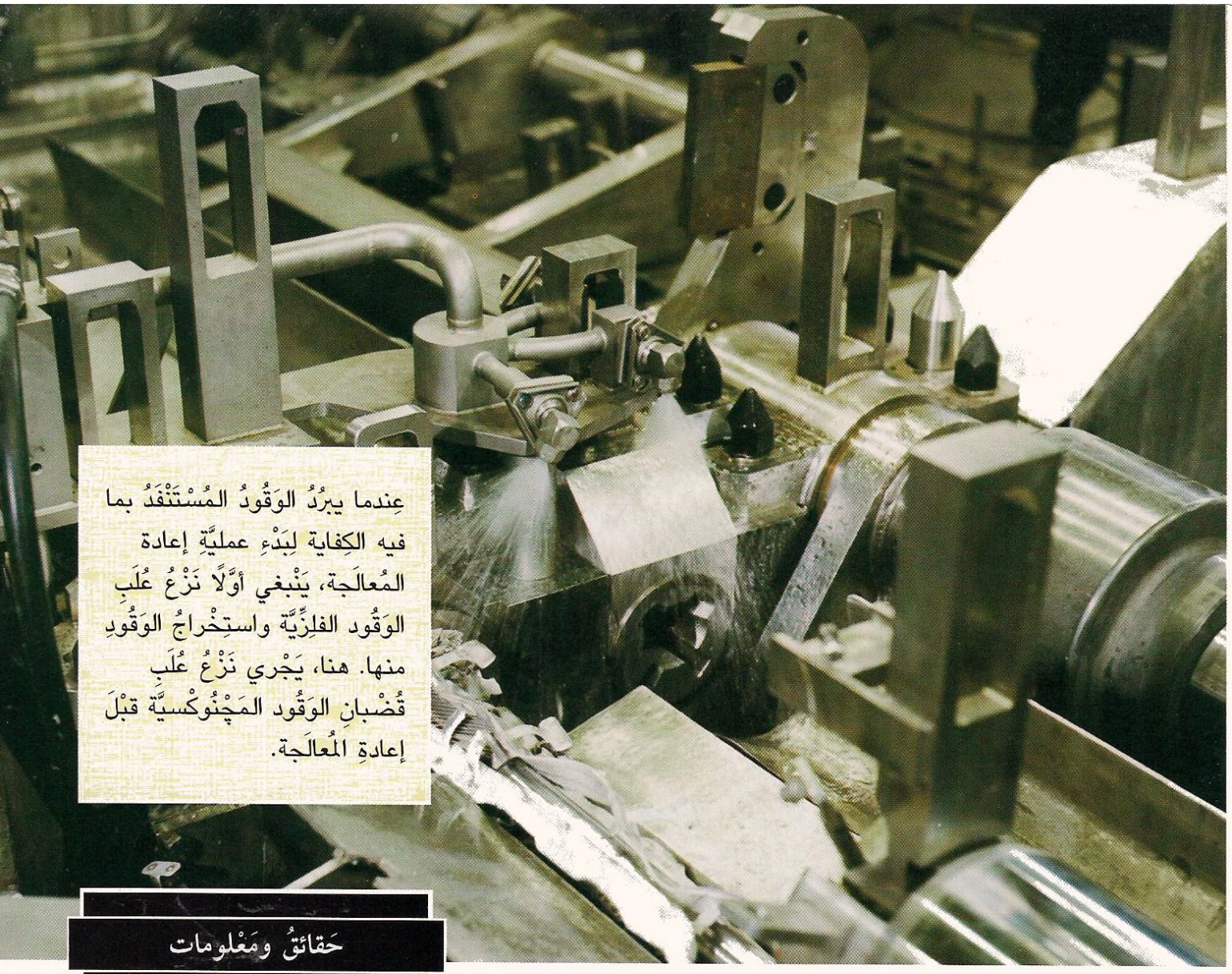
عندما يَدِبُّ الاِضْمِحلالُ في وَقُودِ مَحطَّةِ قُدْرةٍ نَوَويَّةٍ، فإنَّه يُنْتِجُ طاقةً حَراريَّةً مُتَضائلة، ولا بُدَّ أخيرًا من أنْ يُسْتَبْدَل به وَقُودٌ جديد. ويُمكِنُ إعادةُ مُعالجةِ الوَقُودِ القديم لاستِخْلاص بقايا اليُورانيوم التي لم يطَلْها الاِضمِحلالُ لاستِخْدامِها مُجَدَّدًا.

إعادةُ مُعالَجةِ الوَقُودِ النَّوَويِّ مُجديةٌ اقتِصاديًّا، فالطُّنُّ الواحدُ من الوَقُود المُعادِ المُعالَجة يُوفِّرُ طاقةً تُعادلُ طاقةَ 20 000 طُنٍّ من النِّفْط. إنَّ معظمَ عمليَّاتِ إعادةِ مُعالجة الوَقُود النَّوَويِّ في العالَم تَجْري في فرَنْسا والمملكةِ المتحدة واليابان وألمانيا. والبُلدانُ الأُخرى تَنْقُلُ وَقُودَها النَّوَويّ المُسْتَنْفَد لِتُعادَ مُعالجتُه في هذه البُلدان.



فوق: قُضْبانُ الوَقُود المُسْتَنْفَدِ تَتوَهَّجُ في بِرْكةِ التَّخْزين في مُؤسَّسةِ أبحاثِ الطاقة الذرِّيَّةِ البريطانيَّة في هارْوِل. التوَهُّجُ الأَزْرقُ المُسَمَّى إشعاعَ شيرِنكوف، ليسَ حرارةً. فهو يَتسَبَّبُ في المادَّة عندما تَنْطلِقُ الجُسَيْماتُ عَبْرها بِسُرعةٍ تفوقُ سُرعةَ الضَّوءِ عَبْرَها.

إلى اليَمين: يُبَرَّدُ الوَقُودُ المُسْتَنْفَدُ من مَحطَّاتِ القُدْرةِ النَّوَويَّة في بِرْكةِ تَخْزينٍ تابعةٍ لِوَحْدةِ إعادةِ المُعالجةِ بالأُكسيدِ الحراريِّ في بريطانيا. الوَقُودُ المُرادُ معالجتُه يَبْتَعِثُ كميَّاتٍ ضخمةً من الحرارة. وتَتطلَّبُ عمليَّةُ التبريد مُدَّةً قد تَبْلُغُ 50 سنةً قبْلَ أنْ يُمكِنَ إعادةُ معالجتِه وتصريفُه.



عِندما يبرُدُ الوَقُودُ المُسْتَنْفَدُ بما فيه الكِفاية لِبَدْءِ عمليَّةِ إعادة المُعالَجة، يَنْبغي أوَّلًا نَزْعُ عُلَبِ الوَقُود الفلِزِّيَّة واستِخْراجُ الوَقُودِ منها. هنا، يَجْري نَزْعُ عُلَبِ قُضْبانِ الوَقُود المَجْنُوكْسيَّة قبْلَ إعادةِ المُعالَجة.

النُّفاياتُ النَّوَويَّة

بالإضافةِ إلى تَوفيرِ الوَقُود اللَّازِمِ لإعادة المُعالَجة، فإنَّ مَحطَّاتِ القُدْرةِ النَّوَويَّة تُنْتِجُ أيضًا نُفاياتِها الخاصَّة. هذه النُّفاياتُ تُقْسَمُ إلى فئاتٍ ثلاثٍ – خفيضةِ ومُتوسِّطةِ وعاليةِ المُسْتَوى تَبَعًا لِفاعليَّتِها الإشعاعيَّة. وهي قد تكونُ جامِدةً أو سائلةً أو غازيَّةً.

النُّفاياتُ الخَفيضةُ المُسْتَوى الإشعاعيّ تَشْمَلُ ثيابَ العُمَّال والمُرَشِّحاتِ الهوائيَّةَ ومُعَدَّاتٍ قديمةً تلوَّثَتْ قليلًا بالنَّشاطِ الإشعاعيِّ. والنُّفاياتُ المُتوَسِّطةُ المُسْتَوى تَشْمَلُ عُلَبَ الوَقُودِ المُسْتَعْمَلَةَ وكيماويَّاتٍ استُخْدِمَت في عمليَّاتِ مُعالجةِ النُّفايات. أمَّا النُّفاياتُ العاليةُ المُسْتَوى فتتألَّفُ في مُعْظَمِها من كيماويَّاتٍ سائلة. وكُلُّ نَوعٍ من هذه النُّفاياتِ المُشِعَّةِ يُعالَجُ ويُختزَنُ بطريقةٍ مُختلِفة.

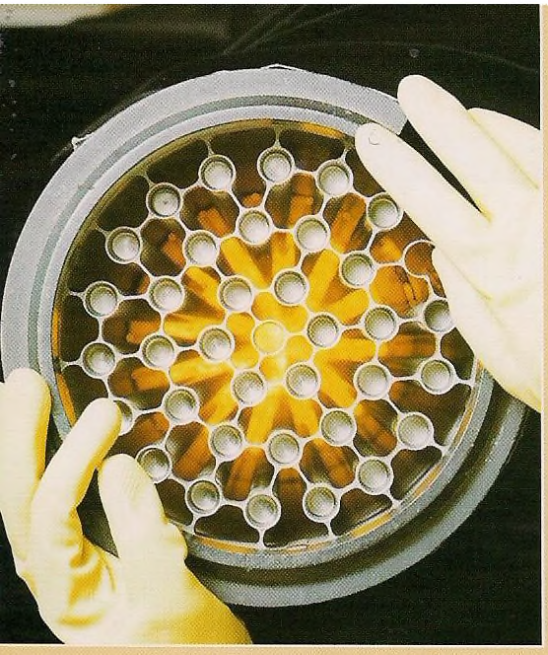
حَقائقُ ومَعْلومات

عُمْرُ النِّصْف هو إحدى السُّبُل المُستَخْدمةِ لِوَصْفِ النَّشاطِ الإشعاعيّ لِمادَّةٍ مُشِعَّة. فعُمْرُ النِّصْف لمادَّةٍ مَّا هو الزَّمَنُ اللَّازِمُ لاضْمِحلالِ نِصْفِ ذرَّاتِها إشعاعيًّا. وتَتراوحُ أعمارُ النِّصْف للعناصر بينَ أقلَّ من جُزْءٍ من مليون من الثانية وبينَ آلافِ ملايين السِّنين. إنَّ عُمْرَ النِّصْف لِليُورانيوم 238 هو 4,5 ألف مِليون سَنة.

إعادةُ المُعالَجة على نِطاقٍ عالَميّ

إعادةُ مُعالجةِ الوَقُود النَّوَويِّ مُستمِرَّةٌ في فرَنْسا منذُ عام 1958. فوَحْدةُ كوچيما لِإعادة المُعالَجة، الواقعةُ على رأس بَرِّ دي لاهيچْ في طَرف شِبْهِ جزيرة كوتَنْتين، بفرَنْسا، مُستمِرَّةٌ في معالجةِ الوُقُدِ النَّوَويَّةِ منذُ عام 1966. وتُعتَبرُ الآنَ وَحْدةَ إعادةِ المُعالَجة الأكبَرَ في العالَم لِوُقُد المُفاعلاتِ المُهدَّأة بالماء العادي. وهي تقومُ بإعادة مُعالجةِ الوُقُدِ لِفرَنْسا ولِـ 27 بلدًا آخرَ تَستَخْدِمُ الكهرباءَ النوويَّة (بخاصَّةٍ بلجيكا وألمانيا واليابان وهولندا وسويسرا). وبإمكانِها إعادةُ مُعالجةِ حتّى 680 طُنًّا من الوَقُود المُستَنْفَدِ سنويًّا. وقد بلَغ مُجملُ ما أُعيدَتْ مُعالجتُه من وُقُد المُفاعلات المُهدَّأة بالماءِ العاديّ في وَحْدة لاهيچْ، منذُ تَدْشينها، 10 000 طُنّ.

تمْتَدُّ وَحْدةُ كُوچيما النَّوَويَّة، لإعادة مُعالجةِ الوَقُود المُستَنْفَد، عَبْرَ الرِّيفِ الفرَنْسيِّ على طُول الشاطئ الفرَنْسيّ لِلقنال بالقُرْبِ من شيرْبُورغ.



التخزينُ تحتَ الماء

تُوضَعُ جَميعاتُ قُضْبانِ الوَقُود حالَ وُصولها إلى وَحْدةِ المُعالَجة في سِلالٍ وتُخزَنُ تحت الماءِ عدَّةَ سنينَ حتَّى تَبْرُدَ ويَقِلَّ نشاطُها الإشعاعيّ. ثُمَّ تُقَطَّعُ القُضْبانُ بأطوال 3 سنتيمترات وتُذابُ في حامضٍ كيماويٍّ قبْلَ أن يَجْري فَصْلُها إلى يُورانيوم وبلوتونيوم ونُفايات. ويُستَخْدَمُ اليُورانيوم والبلوتونيوم المُسْتَخْلصانِ في صُنْعِ وَقُودٍ جَديد.

اليُورانيوم الحديثُ إعادةِ المُعالَجة يُمكِنُ مُناوَلتُه بِسُهولةٍ وأمان. هنا، أُولِجَتْ مَراودُ الوَقُود في عُنْصرِ وَقُودٍ لِمُفاعلٍ مُتَقَدِّمٍ غازيِّ التبريد.

تَحت: مَنْظرٌ لَيليٌّ لِوَحْدةِ كُوچيما. النُّفاياتُ المُشِعَّةُ من إعادةِ المُعالَجة تُخزَنُ مَحَلِّيًّا.

عالِمةٌ تأخذُ عَيِّناتٍ عُشْبِيَّةً لفَحْصِ المُسْتَوياتِ الإشعاعيَّة في البِيئةِ حولَ مَحطَّةِ القُدْرةِ النَّوَوِيَّة هنترْستُن بي بالقُرْبِ من لارْچْس على السَّاحِلِ الإسكُتْلنديّ.

الوَقْعُ البِيئيّ

مَحطَّاتُ القُدْرةِ النَّوَوِيَّة لا تُسَبِّبُ تلَوُّثَ الهواء كما هي الحالُ عندما تُولَّدُ القُدْرةُ بِحَرْقِ الفَحْم أو الغاز. لكِنَّ بعضَ النُّفاياتِ التي تُنْتِجُها فِعلًا تَبْقَى ناشِطةً إشعاعيًّا بِمُسْتوًى خَطِرٍ على مَدَى آلاف السِّنين. وهكذا فإنَّ الوَقُودَ النَّوَويَّ هو من الخُطورةِ بحيثُ يتَوجَّبُ ألَّا يُتاحَ له مَجالُ التسرُّب إلى البِيئة.

يَحمِلُ العاملونَ في الصناعةِ النوويَّة مَقاييسَ لِلجُرعات الإشعاعيَّةِ تُسَجِّلُ مُستوى الإشعاع، إن وُجِد، الذي قد يكونونَ تعَرَّضوا إليه. كما تَجْري مُراقبةُ الهواءِ داخلَ مَحطَّاتِ القُدْرة النوويَّة على الدَّوام، بحيثُ إنَّ أيَّ تسَرُّباتٍ لِغازٍ مُشِعٍّ يُمكِنُ اكتشافُها فَورًا. وقد قرَّرَتْ بعضُ البُلدان، كالسويد، التوَقُّفَ عن إقامةِ المَزيدِ من مَحطَّاتِ القُدْرةِ النَّوَوِيَّة باعتبار أنَّ هذه القُدْرةَ تَبْقى مَصْدرَ خَطَرٍ عالي الاحتِماليَّة – فيما لا تَزالُ بُلدانٌ أُخرى، بما فيها فرَنْسا واليابان، مُسْتمِرَّةً في تطويرِ صِناعاتِها النَّوَوِيَّة.

قُدْرةٌ نَوَوِيَّة؟ كلَّا شُكرًا! – هٰكذا تَقولُ هذه الشارةُ التي راح الناسُ يَحمِلونها في الدانِمَرك أواخرَ عَقْدِ السَّبعينيَّاتِ من القَرْنِ العِشْرين. وقد أجبرَتِ الاحْتِجاجاتُ الشَّعْبِيَّةُ العارِمةُ الحكومةَ الدانِمَركيَّة على التخَلِّي عن فِكْرةِ إقامةِ مَحطَّاتِ قُدْرةٍ نَوَوِيَّةٍ في الدَّانِمَرك.

طَرْحُ النُّفاياتِ النَّوَويَّة

في بدايات تَسْخيرِ القُدْرةِ النَّوَويَّة، كانت نُفاياتُ المُفاعلاتِ النَّوَويَّةِ المَدَنيَّةِ والعَسْكريَّة، في بعضِ البُلدان، تُطْرَحُ في عُرْضِ البَحْر أو في البُحَيْراتِ العميقة، أو تُطْمَرُ تحتَ سَطْحِ الأرض. لذا، فإنَّ أجزاءً من الاتِّحادِ السوفياتيّ السابق هي حاليًا بالِغةُ التلَوُّث بحيثُ إنَّ السّائحَ قد يتَلَقّى جُرعةً قاتِلةً من الإشعاع بِمُجرَّدِ وُقوفِه على شاطئ بُحَيْرةٍ كانت تُدْلَقُ فيها نُفاياتٌ مُشِعَّة. إنَّ التسَرُّباتِ النَّوَويَّةَ والنُّفاياتِ المُطَّرَحةَ في العُقودِ السابقة لا تزالُ تُؤثِّرُ فينا اليومَ كما سَيَسْتَمِرُّ تأثيرُها في الأجيالِ المُسْتَقْبليَّةِ أيضًا.

عامِلٌ نَوَويٌّ يَتفَحَّصُ أجهِزَةَ مُراقَبةِ الإشعاع لدَيه قبْلَ الدُّخولِ إلى مِنطقةٍ إشعاعيَّة. هذه الأجهزةُ تُحْمَلُ دَومًا في هذه المناطق وتُفْحَصُ بانتِظام دَوريًّا لِضَمانِ عدمِ تعَرُّضِ العاملين لِمُسْتَوياتٍ خَطِرةٍ من الإشعاعات.

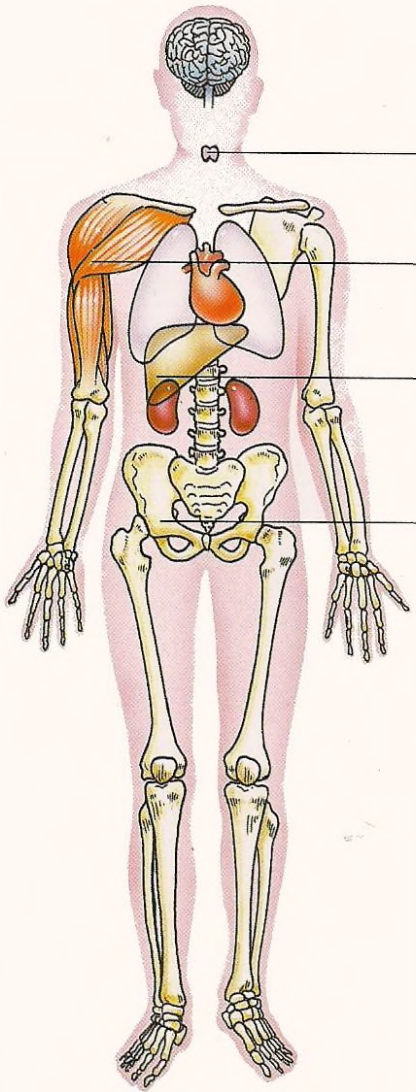
حَقائقُ ومَعْلومات

تُقاسُ الفاعليَّةُ الإشعاعيَّةُ (أو النشاط الإشعاعيّ) بالبيكَريل. وَحْدةُ البيكريل (رَمْزه بيك) تُمثِّلُ اضْمِحلالًا إشعاعيًّا واحدًا في الثانية. والمُسْتَوى الإشعاعيُّ الذي يَبْلُغُ 37 000 مِليون اضْمِحلالٍ في الثانية يُسَمَّى كُوري، باسْم العالِمة ماري كوري. الإشعاعاتُ التي يَمْتَصُّها الجِسْمُ البَشَريُّ تُقاسُ بالجراي؛ بحَيثُ إنَّ الجراي الواحدَ يُعادِلُ طاقةَ جُولٍ للكيلوغرام الواحدِ من وَزْنِ الجِسْم.

التأثيراتُ البَيُولوجيَّة لِلإشعاعات

الجُرعاتُ العاليةُ من الإشعاعات تُهْلِكُ الكائناتِ الحَيَّةَ. وقد كان الهُجومُ المُدَمِّرُ على المدينةِ اليابانيَّة – هيروشيما – عامَ 1945 أوَّلَ استِخْدامٍ لِلقُدْرةِ النوويَّةِ. هذا الهُجومُ، والهُجومُ الذي تَلاه على المَرْفأ الياباني ناغاساكي في الشهر نفسِه وضَعا نهايةً سريعةً لِلحَرْبِ العالميَّةِ الثانية وَقد سَوَّى الهجومُ الأوَّل بقُنْبلة نوويَّةٍ مُعظمَ مدينةِ هيروشيما بالأرض وأودَى بحياةِ 100 000 شخص. أمَّا قُنْبلة ناغاساكي فقد دمَّرتْ ثُلُثَ المدينَة وقَتلَت 66 000 شخص. وقد استمرَّتِ الإشعاعاتُ التي انْتَشرَت فوقَ المَدينتَيْن، جرَّاءَ القُنْبلتَيْن، تؤثِّرُ في الناس حتى اليوم.

التَّعَرُّض لِلإشعاعات



اليُود 13، النظيرُ المُشِعُّ لِليُود، يَتجَمَّعُ في الغُدَّةِ الدَّرَقيَّة.

العَضَلاتُ تَمْتَصُّ السيزْيوم 134 والسيزيوم 137.

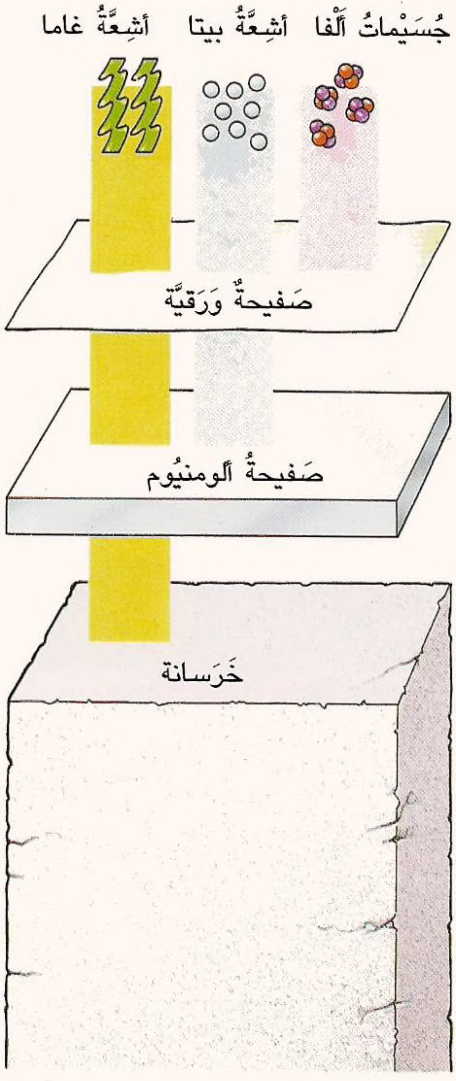
الكربون 14، النظيرُ المُشِعُّ لِلكربون، يُزْدَردُ مع الطَّعام ويَتجَمَّعُ في الكَبِد أو المَعِدة.

السترنْشيُوم 90 تَمْتَصُّه العِظامُ، وقد يُسبِّبُ سَرطانَ العِظام أو اللُّوكيميا.

الإشعاعاتُ تُتْلِفُ الخلايا الحيَّةَ أو تقتُلُها بتَفْكيكِ جُزَيءِ دنأ داخِلَ نَواةِ الخليَّة. والمعروفُ أنَّ جُزَيءَ دنأ يَحْوي الشَّفرة التي تَحكُمُ الوظائفَ اليوميَّةَ لِلخلايا بما فيها إنتاجُ خلايا جَديدة.

الموادُّ المُشِعَّةُ تَبْتَعِثُ ثلاثةَ أنواعٍ من الأشِعَّة – ألْفا وبيتا وغاما. أشِعَّةُ ألْفا وَبيتا هي جُسَيْمات، أمَّا أشِعَّةُ غاما فهي تموُّجاتٌ كَهرُمِغْنطيسيَّةٍ كالضوء، لكِنَّها أشَدُّ اخْتراقيَّةً. جُسَيْماتُ ألْفا يُمكِنُ صَدُّها بصَفيحةٍ وَرَقيَّة. أشِعَّةُ بيتا، المُؤلَّفةُ من جُسَيْماتٍ أصغرَ بكَثير تُسَمَّى إلكتروناتٍ، يُمكِنُ صَدُّها بِصَفيحةٍ من الألومنيوم. أمَّا أشِعَّةُ غاما فيَحتاجُ صَدُّها إلى جِدارٍ من الخَرَسانةِ أو صفيحةٍ سميكةٍ من الرَّصاص.

القُدْرةُ الاِخْتِراقيَّةُ لِلأَشِعَّة



الاِنْفِجارُ النَّوَويُّ يُحدِثُ سَحابةً هائلةً أشبَه بِفُطْر عَيشِ الغُراب؛ وقُوَّتُه التفجيريَّة قادِرةٌ على تَدميرِ مَدينةٍ بكامِلِها في بِضْع ثَوانٍ. حتَّى الباقونَ من الناس على قَيْدِ الحياة، بعدَ الاِنْفجار، قد يُعانُون طِيْلةَ باقي حياتِهم من الإشعاعاتِ التي تُنْتِجُها القُنْبلة.

حَقائقُ ومَعْلومات

في ما مَضى، كانت مَدالاتُ السَّاعاتِ المُضيئةُ فَلْوريًّا تُصَنَّعُ يَدَويًّا. وكانَ العُمَّالُ غالبًا ما يَلْعَقونَ فَراشِيَّهُم أثناءَ طَلْيِ البُقَعِ المُضاءَةِ على المَدالات لإبقاءِ أطرافِها مُسْتَدِقَّةً. ولمّا كانَ الدِّهانُ المُستَخْدمُ لِهٰذا الغَرَضِ مُشِعًّا، فإنَّ بعضَ العُمَّال أُصيبوا بسَرَطاناتِ الفَمِ لاحِقًا نتيجةً لِذلك.

أمراضُ الإشعاع

حتَّى الجُرْعةُ الخَفيضةُ من الإشعاعِ قد تُشْعِرُ المَرءَ بالمَرض. والجُرْعاتُ الأعلى تُسَبِّبُ تقَرُّحاتٍ وحُروقًا في الجِلد، وتُتلِفُ نُخاعَ العَظْم حيثُ تُصنَعُ كُرَيَّاتُ الدمِ الحمراء مِمّا يُخَفِّضُ مُحتَوى الأُكسجين في الدم وبالتالي إنتاجَ الطاقةِ في الجِسْم ومُقاومتَه لِلمَرض. كذلك فإنَّ اَستِنْشاقَ الجُسَيْماتِ المُشِعَّةِ يُعطِبُ الرِّئتَيْن. وفي المَدَى الأطولِ على مَدَى عَددٍ من السِّنين أو العُقود، يُسبِّبُ الإشعاعُ النَّوَويُّ سَرَطاناتٍ مُختلِفة. وقد يَطالُ أذَى الإشعاعاتِ النَّوَويَّةِ أشخاصًا لم يُولدوا بَعدُ - إذ تُتْلِفُ جُزَيئاتِ دنأ في خلايا الأحياء بِحَيثُ تُنقَلُ تَعْليماتُ النمُوِّ والتطوُّرِ الوِراثيَّةُ الخاطِئةُ إلى أبنائهم قَبْلَ أنْ يُولَدوا.

نَقْلُ الوُقُدِ النَّوَوِيَّة

يَنْبَغي نَقْلُ الوَقُودِ النوويِّ من مَوقِعِ المُعالَجة إلى مَوقعِ الاستِخْدام في المُفاعلات. كذلك يَنْبغي نَقْلُ الوَقُودِ المُستَنْفدِ – من اليُورانيوم والموادِّ الأُخرى التي انتهَت فعاليَّتها كوَقُودِ مُفاعلات – من مَحطَّاتِ القُدْرة إلى مَواقِعِ إعادةِ المُعالجةِ والتخزين. وتَجْري عمليَّاتُ نَقْلِ الموادِّ بواسطةِ سُفُنٍ وعَرباتِ سِكَّةِ حديدٍ مُصَمَّمةٍ خِصِّيصًا لِذلك.

في الولاياتِ المتحدة الأمريكيَّة، يُنْقَلُ الوَقُودُ المُستَنْفَدُ من مَحطّاتِ القُدْرةِ النوويَّة داخِلَ بَراميلَ ضَخْمةٍ فائقةِ المَتانةِ على عَرباتِ سِكَّةِ حديدٍ مُسَطَّحةٍ (لا سقْفَ لها ولا جَوانب). هذه البراميلُ المُصَمَّمةُ خِصِّيصًا لِهذا الغَرَض يبلغُ طولُ الواحدِ منها 7,1 م وقُطْرُه 3 م ويَزِنُ بكاملِ حُمولته من 80 إلى 90 طُنًّا.

وَقُودٌ مُسْتَنْفَدٌ ومَوادُّ قُلوبِ المُفاعِلات من المَحطَّاتِ النوويَّة السويديَّة تُنْقَلُ بواسطةِ هذه السفينة – سيچين – إلى بريطانيا أو فرَنْسا لإعادةِ المُعالَجةِ أو التَّخْزين.

أحرازٌ، تحوي وَقُودًا مُستَنْفَدًا من مَحطَّاتِ القُدْرة النوويَّة البريطانيَّة، تُنْقَلُ بالسِّكةِ الحديديَّةِ إلى وَحَداتِ إعادةِ المُعالَجة في سِلّافيلد بمُقاطعة كمْبريا. إنَّ مُواصَفاتِ تَصْميمِ وصُنْعِ الأحراز (ج. حِرْز) المُستَخْدمةِ لِنَقْلِ الوَقُود النوويِّ تحكُمُها اتفاقاتٌ دوليَّة.

الأحرازُ النَّوَويَّة

يَتوَجَّبُ اتِّخاذُ كامِلِ الاِحْتياطاتِ لِمَنْع سُروب أو انفِلات الوَقُود النوويِّ أثناءَ نَقْلِه، حتَّى ولوتعَرَّضَت وَسيلَةُ النَّقْل - باخِرةً كانت أم قِطارًا - لِحَادثٍ خَطير. هذا الوَقُودُ يُنْقَلُ في حاوياتٍ خاصَّةٍ تُسَمَّى أحرازًا؛ وهي مُصَمَّمةٌ لِاحْتِباس الإشعاعات بِداخلِها ومُقاوَمةِ أيِّ حادثٍ - ولو كانَ هُجومًا إرهابيًّا مُتَعَمَّدًا. الأحرازُ تُصْنَعُ من الفُولاذ، ويتراوَحُ وَزْنُ الحِرْزِ منها بينَ 50 وَ 110 أطنان وتبلُغ تكلِفتُه قُرابَة 000 000 1 جُنَيه استَرْلينيّ. وهو مُصَمَّمٌ لِاحتماليَّةِ السُّقوطِ من علُوِّ 9 أمتار على سطحٍ مُفلطحٍ صَلْد، أو من عُلُوِّ مترٍ واحدٍ على رأسٍ حادٍّ، وأنْ يَصْمُدَ أمامَ نيرانِ حريقٍ على درجة 800°س دونَ تأثُّرٍ مُدَّةَ نِصْفِ ساعة.

حَقائقُ ومَعْلومات

لَقد أُجريَ اخْتبارُ مَتانةٍ على حِرْزٍ نَوويٍّ في المملكة المتحدة بصَدْمِهِ بقاطرةِ ديزل وثلاثِ عَرَباتٍ مُنْطَلِقةٍ بسُرعةِ 160 كم/ سا. وعندما استَقَرَّتْ سَحابةُ الغبار، تبيَّنَ أنَّ القاطِرةَ قد دُمِّرَتْ بالكامِلِ وأنَّ الحِرْزَ احتمَلَ الصَّدمَ دونَ أنْ يَتسَرَّبَ منه شَيءٌ.

تَخْزينُ النُّفاياتِ النوويَّة

بسبَبِ فاعليَّتِها الإشعاعيَّة يتَوجَّبُ التخَلُّصُ من نُفاياتِ محطَّاتِ القُدْرة النوويَّةِ بعِنايةٍ فائقة. فحَرْقُها سَيُطلِقُها في الجَوّ؛ وطَمْرُها، في مَطْرحِ نُفاياتٍ عاديٍّ، سَيُتيحُ للإشعاعات المُنْبعِثَةِ منها السُّروبُ في الأرض وتَلْويثُ مَوارِد المياه. تُستَخْدمُ أساليبُ تَخْزينٍ مُختلِفةٌ لِلنُّفاياتِ النوويَّةِ تبَعًا لِمُسْتَوى نَشاطِها الإشعاعيّ. فمُعظمُ النُّفاياتِ الخفيضةِ والمتوَسِّطةِ المُسْتَوى الإشعاعيّ تُحْتَبَسُ في حاوياتٍ مُحْكَمةِ السَّدِّ وتُخْزَنُ فوق سَطْحِ الأرض في مواقِعَ خاصَّةٍ؛ وقد تُخْزَنُ لاحِقًا تحتَ الأرض. أمَّا النُّفاياتُ العاليةُ المُسْتَوى الإشعاعيّ فغالِبًا ما تُرَسَّخُ بشِدَّةٍ ضِمْنَ طُوبٍ زُجاجيٍّ (في عمليَّةٍ تُسَمَّى التَّزْجيج) قبْلَ طَمْرِها عَميقًا تحت سَطْحِ الأرض. لكِنْ يَجِبُ أنْ يكونَ مَوقِعُ الطَّمْرِ مَوثوقَ الإستِقْراريَّة لا يَتهدَّدُه خَطَرُ الزَّلازلِ أو البَراكين.

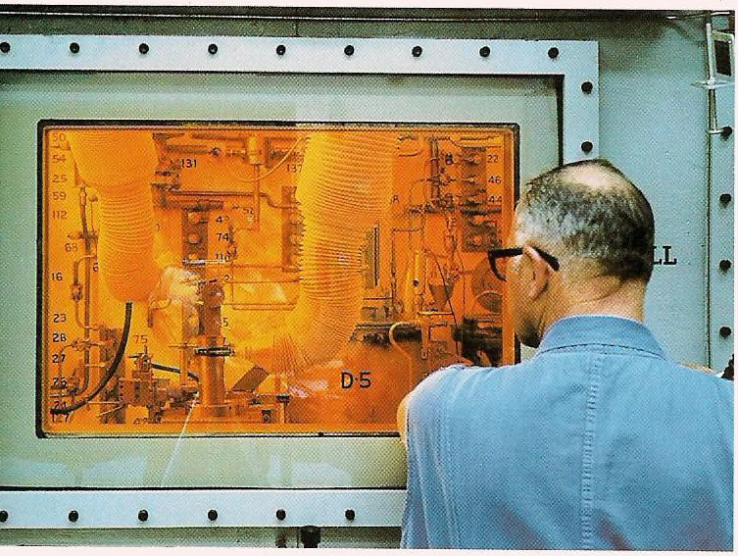
حَقائقُ ومَعْلومات

ليسَ كُلُّ ما هو نَوويٌّ خَطِرًا. فاليُورانيوم الطبيعيُّ يُمكِنُ تَداوُلُه بأمانٍ لأنَّه يَضْمَحِلُّ ببُطْءٍ شديدٍ فلا يُحْدِثُ أيَّ أذًى.

في مَرْفِقِ هانْفُورد لِتَخْزين النُّفاياتِ النَّوَوِيَّة، في الولايات المتحدة، يُحْفَظُ وَقُودُ البلوتونيوم المُستَنْفَدُ في خزَّاناتِ نُفاياتٍ ضَخْمةٍ تحتَ الأرض.

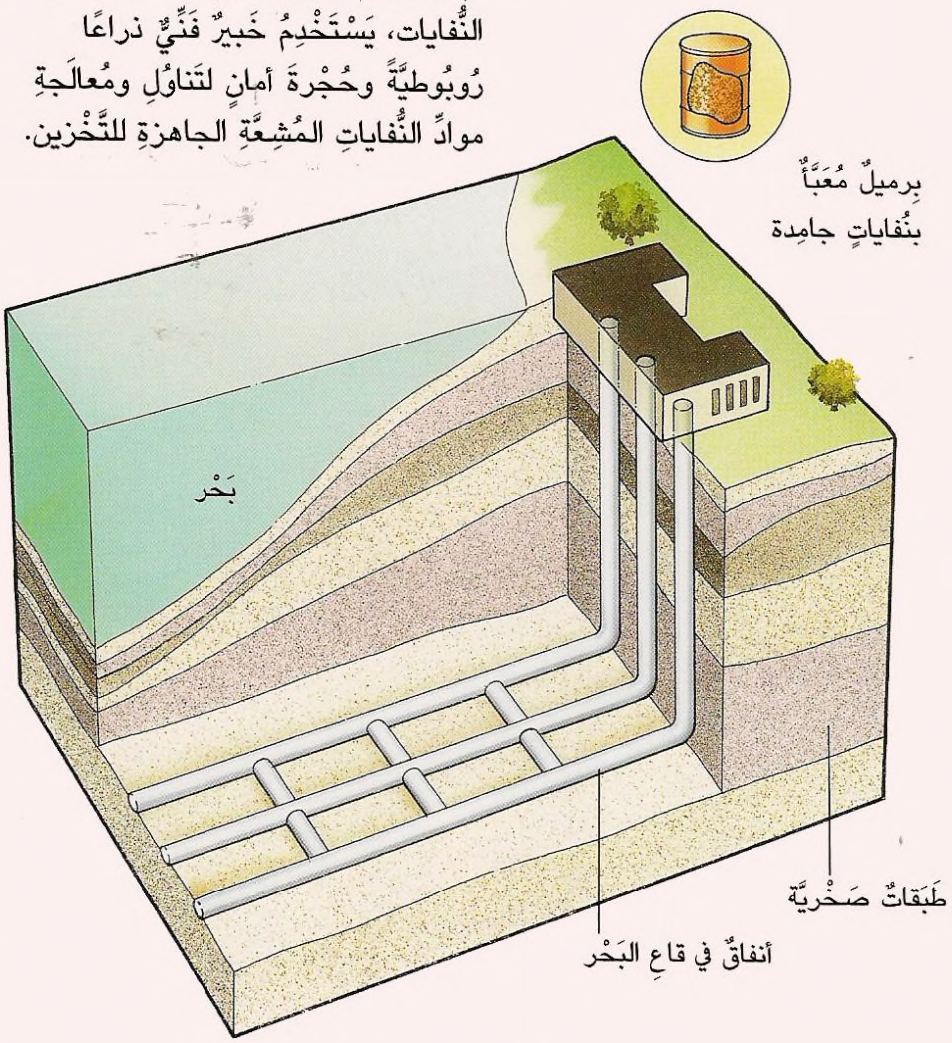
الطَّمْرُ في البَحْر

حالِيًّا، تَتوَزَّعُ جميعُ مَواقِعِ طَمْرِ النُّفايات النوويَّة على اليابِسة. أمَّا الخَيارُ البَديلُ فهُو طَمْرُها عَميقًا تحتَ سَطْحِ قاعِ البَحْر. فهُنالك أجزاءٌ في قاعِ البَحْر باقِيةٌ على استِقْرارها منذُ مَلايينِ السِّنين. ويَعْتقِدُ العُلماءُ أنَّ الرُّساباتِ المُحيطيَّةَ الدقيقةَ سَتُحْكِمُ سَدَّ أيِّ تَسَرُّباتٍ في حاوياتِ النُّفايات وتمنَعُ انْتِشارَ الإشعاعات. ويُقَدَّرُ أنَّه في مَدَى حوالى 1000 سنةٍ، سَيتأكَّلُ فلِزُّ هذه الحاويات مُتيحًا لِلنُّفاياتِ المُشِعَّةِ بُلوغَ الطِّينِ المُكْتَنِف. لكِنَّ العُلماءَ يَرتأون أنَّها لن تَنْتَشِرَ أكثَرَ من مِتْرٍ واحدٍ في مَدَى 24000 سنة.

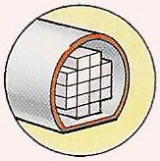


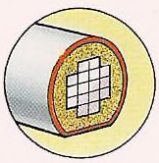
في وَحْدةٍ أمريكيَّةٍ لِاستِخْلاصِ البلوتونْيوم واليُورانيوم وإعادةِ مُعالَجةِ النُّفايات، يَسْتَخْدِمُ خَبيرٌ فَنِّيٌّ ذراعًا رُوبُوطيَّةً وحُجْرةَ أمانٍ لتَناوُلِ ومُعالَجةِ موادِّ النُّفاياتِ المُشِعَّةِ الجاهزةِ للتَّخْزين.

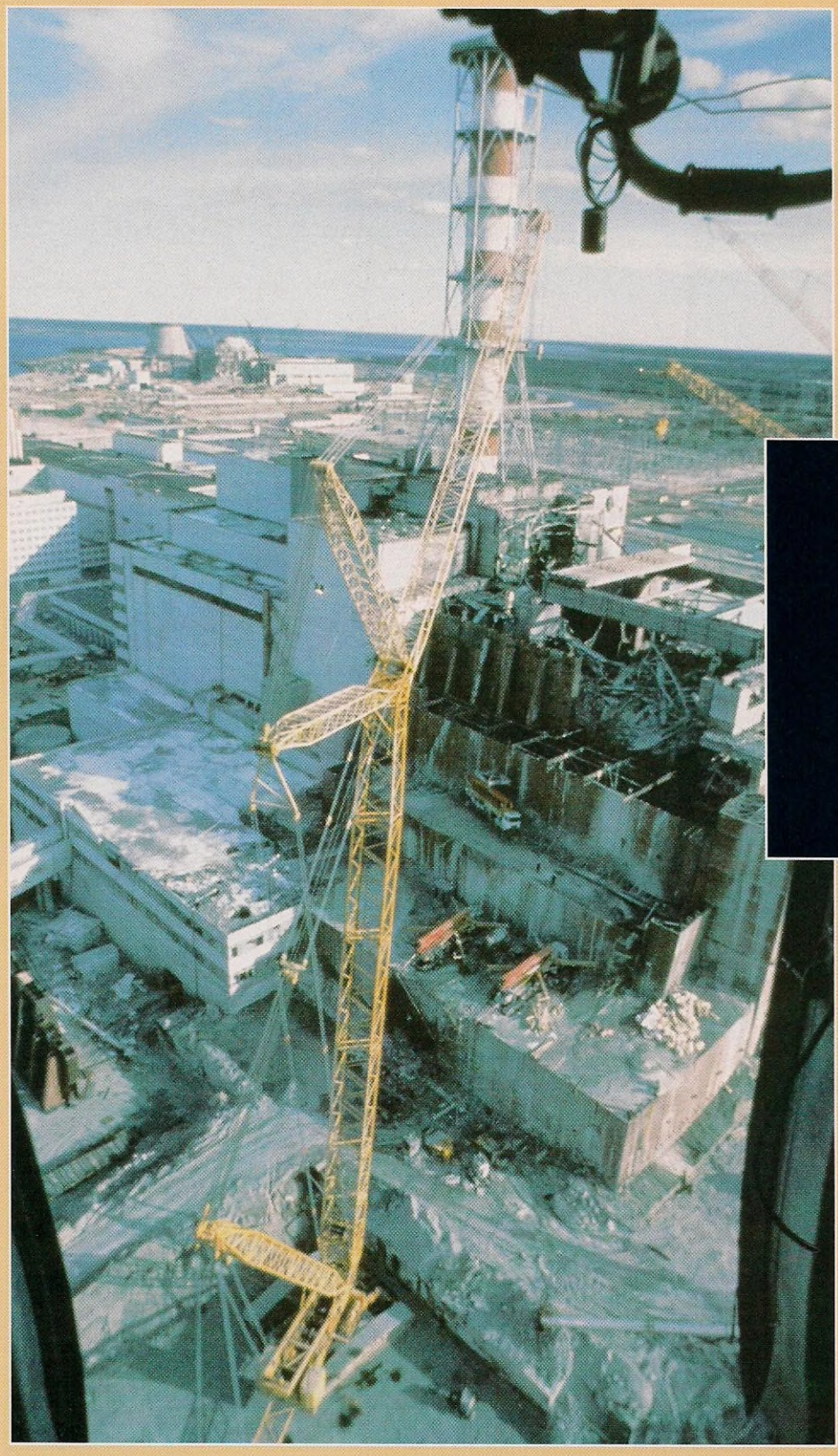
نُفاياتٌ جامِدَةٌ تُحَضَّرُ للطَّمْرِ بتَغْليفِها أوَّلًا بالخَرَسانة داخِلَ بَراميل. ثُمَّ تُرَصُّ البَراميلُ في خَزَّاناتٍ تُحْمَلُ إلى سراديبَ أو أنفاقٍ تحت الأرض تُعَبَّأُ بالخَرَسانة. إنَّ كُلَّ مَرْحلةٍ مُصَمَّمةٌ لِتَوفيرِ حاجِزٍ آخَرَ لِوَقْفِ الإشعاعاتِ من السُّروبِ خارِجًا إلى الأرضِ المُكْتَنِفة.



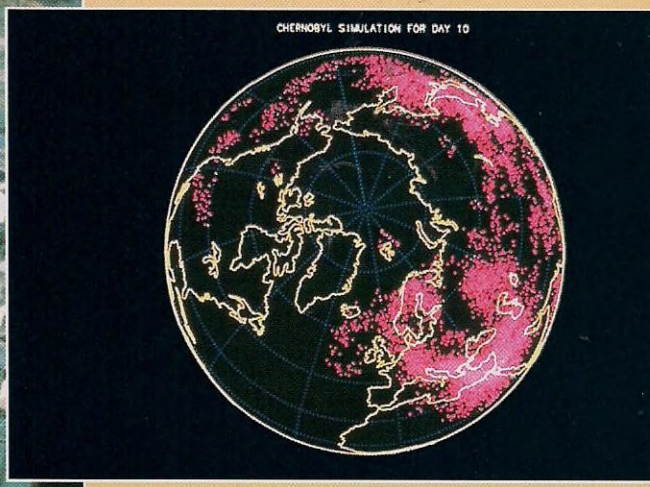
بَراميلُ في
وَحَداتِ تَخْزين


وَحَداتُ
تَخْزينٍ في نَفَق


نَفَقٌ مُعَبَّأٌ ومَخْتوم
(مُحْكم السَّدّ)



تَحت: رَسْمٌ حاسوبيٌّ يُمَثِّلُ مَدى اُنْتِشار الموادِّ المُشِعَّةِ المَقْذوفةِ في الجَوّ حولَ العالَم نَتيجةً لحادثِ تشِرنوبِلَ بعدَ 10 أيَّام فقَط من الاِنْفِجار.



إلى اليَسار: مَنْظرٌ جَوِّيٌّ لِلمُفاعِل المُدَمَّرِ في تشِرْنوبل بعدَ اُنْفجاره واشتِعالِ الحرائق فيه. لقد تلَقَّى القاطِنونَ في الجِوارِ الجُرْعاتِ الأَعْلى من الإشعاعات وعانَوا نَتيجةً لذلك مَشاكِلَ صِحّيَّةً خَطيرة. ويُقَدَّر عددُ من تَضَرَّروا جراءَ الاِنْفجار، بشكلٍ أو بآخرَ، بتِسْعةِ ملايينَ شخصٍ في اسكندیناقية وسائرِ أنحاءِ أُوروبا.

كارِثةٌ فادِحة

يُحاوِلُ مُصَمِّمو مَحطّاتِ القُدْرةِ النوويَّة التنَبُّؤَ بالأعطالِ التي يُمكِنُ أنْ تَحْدُثَ وكيفَ تَحْدُثُ والوسائلِ الفُضْلَى لِاكتشافِ ومُعالجةِ أيِّ عارضٍ أو خَلَلٍ دُونَ السَّماحِ لأيِّ إشعاعاتٍ بالتسَرُّب إلى المحيط. لقد حصلَت حوادِثُ نوويَّةٌ في الولايات المتحدة الأمريكيَّة وفي المملكة المتحدة؛ لكِنَّ الحادثَ النَّوَويَّ الأَسْوأَ، حتَّى الآن، هو الِانْفجارُ الهائلُ بتاريخ 26 نيسان (أبريل) عامَ 1986 في محطَّة تشِرنوبِل على بُعْدِ حوالى 130 كيلومترًا شمالي كْييف في أُوكرانيا. فقد انفجَرَ أحدُ المُفاعِلاتِ الأربعة في محطَّةِ القُدْرة النوويَّة فيها واشتعَلَ، ناشِرًا الغُبارَ والغازاتِ المُشِعَّةَ فوقَ مِساحاتٍ شاسِعة.

خَلَلٌ دَهى المُفاعل

بينما كان يُجْرَى اْختبارٌ على المُفاعِل في تشِرنوبِل، لُوحِظَ أنَّ خَرْجَ قُدْرتِه بدأَ بالِارْتفاع. ولم يستطِع العاملون خَفْضَ قُضْبانِ التحَكُّم بِسُرعةٍ كافيةٍ لِمَنْع الوَقُودِ من فَرْطِ الحُمُوِّ. فتَحَوَّلَ ماءُ التبريد داخلَ المُفاعِل سَريعًا إلى بُخارٍ تفاعَلَ مع الغرافيت وانفجَرَ. وبامتزاجِ الماءِ والوَقُودِ الحارِّ داخلَ المُفاعِل، حصلَ مَزيدٌ من الِانْفجاراتِ وابتدأتِ الحرائق. وكانت الِانْفجاراتُ من القُوَّةِ بحَيْثُ أطارتْ غِطاءَ المُفاعِل، رُغْمَ وَزْنِه البالِغِ 1000 طُنٍّ، ونَثَرتِ الوَقُودَ المُشِعَّ عاليًا حولَ الموقِع. فسقَطَتِ الجُسَيْماتُ الثقيلةُ في الجِوار، وحمَلتِ الرِّياحُ الصغيرةَ منها بَعيدًا بنَتائجَ كارِثيَّة.

حقائقُ ومَعْلومات

حرائقُ المُفاعِلِ النَّوَويّ رقم 4 في تشِرنوبِل قذَفَت جُسَيْماتٍ دقيقةً مُشِعَّةً عاليًا في الجوِّ حيثُ حملَتْها الرِّياحُ مئاتِ الكيلومترات. وقد انتَشرَت سَحابةٌ مُشِعَّةٌ غَربًا عَبْرَ اسْكندينافية وأوروبا الشماليَّة اكتُشِفَتْ في السويد بَعْدَ يومَيْنِ من تاريخ الِانْفجار.

بعضُ الأَغنامِ البريطانيَّة والأَعْشابِ التي كانت تَقْتاتُ بها تلَوَّثَتْ بالتَّساقُطِ الإشعاعيِّ، من تشِرنوبِل. وقد أُجريَتْ اخْتباراتٌ لقياسِ مُسْتوياتِ الإشعاع التي لَحِقَت بالأَغْنام، ووُسِمَتِ المُلَوَّثةُ منها بصبْغٍ مُلَوِّن.

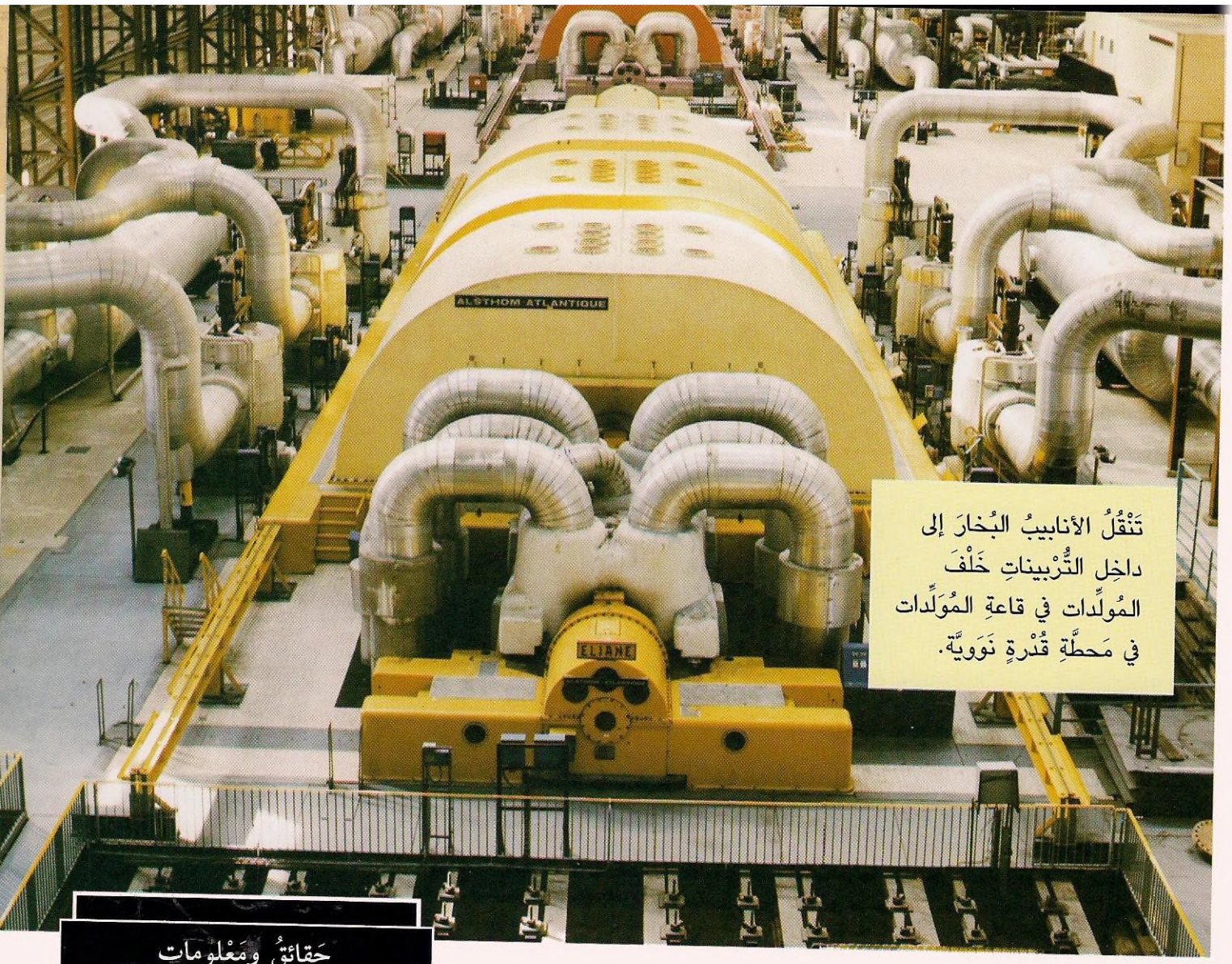
اِستِخْداماتُ القُدْرةِ النَّوَوِيَّة

عَشَراتُ الآلاتِ في غُرفَةِ التحَكُّم في محطَّةِ القُدْرةِ النوويَّة تُمَكِّنُ العامِلينَ من مُراقَبةِ كُلِّ ما يَجري والتحَكُّمِ فيه – إنْ كان في المُفاعلِ أو التُّرْبيناتِ أو في قاعةِ التوليد.

مَحطَّاتُ القُدْرة

هنالكَ اليومَ حوالى 420 محطَّةَ قُدْرةٍ نَوَويَّة في العالَم يَتَواجَدُ رُبْعُها تقريبًا في الولاياتِ المتحدة الأمريكيَّة. مَحطَّاتُ القُدْرةِ هي مُحَرِّكاتٌ بُخاريَّةٌ عِملاقةٌ، تَسْتَخْدِمُ الحرارةَ التي يُمِدُّها بها الوَقُودُ لإغلاءِ الماءِ وإنتاجِ بُخارٍ يُديرُ مُوَلِّدًا تُربينيًّا لِتَوليدِ الكهرباء. والفَرقُ الوَحيدُ بين مَحطَّاتِ القُدْرةِ النَّوَويَّة ومَحطَّاتِ القُدْرةِ الأُخرى هو نَوعُ الوَقُودِ المُسْتَخْدَمِ وطريقةُ ٱبْتعاثِ ذلك الوقودِ لِلحرارة. فالوُقُدُ الأُحفوريَّةُ – من فَحْمٍ ونِفْطٍ وغاز – تُحْرَقُ لإطلاقِ الطاقةِ المُخْتَزنةِ فيها، بينما تُطْلِقُ الوُقُدُ النوويَّةُ حرارةً دُونَ ٱحْتراق.

يَتَصاعَدُ البُخارُ من أبراجِ التبريد في محطَّةِ القُدْرةِ النوويَّة في رانْكوسِيكُو في كاليفورنيا، بالولاياتِ المتحدة الأمريكيَّة. المُفاعِلاتُ النوويَّةُ تُنْتِجُ حرارةً تَنْتَقِلُ إلى الماءِ لِتوليدِ البُخار؛ والبُخارُ يُديرُ عَمودَ إدارةِ التُّرْبين. وتَنْتَقِلُ طاقةُ العَمودِ المُدَوِّمِ إلى مُولِّدٍ حَيْثُ تَتَحَوَّلُ طاقةُ الحركةِ إلى طاقةٍ كهربائيَّة.



تَنْقُلُ الأنابيبُ البُخارَ إلى داخِلِ التُّرْبيناتِ خَلْفَ المُولِّدات في قاعةِ المُوَلِّدات في مَحطَّةِ قُدْرةٍ نَوَويَّة.

المُفاعِلاتُ النَّوَويَّة

هُنالِك نوعانِ من المُفاعِلاتِ النوويَّة – المُفاعلاتِ الحراريَّة والمُفاعلات السَّريعة. مُعْظمُ مَحطَّاتِ القُدْرةِ النَّوَويَّة تعمَلُ بِمُفاعلاتٍ حراريَّة. ويتواصَلُ التَّفاعُلُ المُتَسلْسِلُ فيها بواسِطةِ نيوتْروناتٍ بَطيئةِ الحَرَكة، تُسَمَّى أيضًا نيوتْروناتٍ حراريَّةً.

في المُفاعِلاتِ السَّريعةِ تَجْري التَّفاعُلاتُ الإنْشِطاريَّةُ بِواسطةِ نيوتْروناتٍ سَريعةٍ. وهي، بخِلافِ المُفاعِلاتِ الحراريَّة، لا تَحْوي مُهَدِّئًا لِتَبْطئةِ سُرعةِ النيوتْرونات – ومن هُنا تَسْميَتُها بالمُفاعلاتِ السَّريعة. وبسبَب عدمِ الحاجةِ إلى مُهَدِّئ، فإنَّهُ يُمكِنُ صُنْعُ المُفاعلاتِ السَّريعةِ بِحَجْمٍ أصغَر بكثيرٍ من المُفاعلاتِ الحراريَّة. وهي أيضًا تَسْتَخْدِمُ وَقُودًا مُختلِفًا هو مَزيجٌ من البلوتُونيوم واليُورانيوم.

حَقائقُ ومَعْلومات

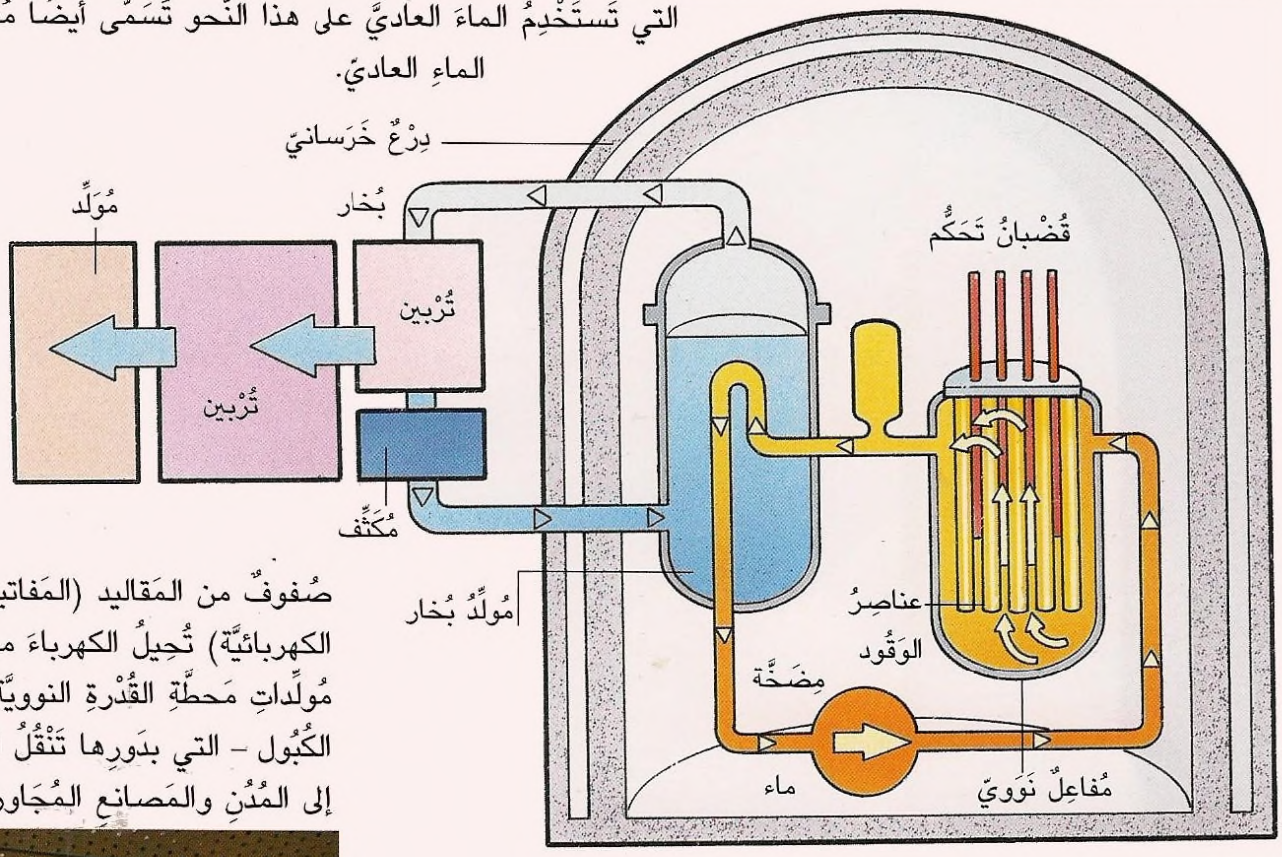
المُوَلِّداتُ التُّربينيَّةُ الأعظَمُ قوَّةً في مَحطَّاتِ القُدْرة يَسْتطيعُ الواحِدُ منها توليدَ ما يكفي من الكهرباء لإمدادِ حوالى 750 000 مَنْزِلٍ بكامِلِ حاجاتها من الكهرباء. والمُكَثِّفاتُ التي تُعيدُ البُخارَ ثانيةً إلى ماءٍ تَحْتاجُ إلى حوالى 200 مِليون لِتْرٍ من الماء في السَّاعة.

المُفاعِلاتُ الحراريَّة

هُنالِك تَصاميمُ عَديدةٌ مُختلِفةٌ من المُفاعلاتِ الحراريَّة في الخِدْمة في مناطِقَ مُختلِفةٍ من العالَم. ويَحْمِلُ مُعْظمُها أسماءً مَصوغةً من أَوائليَّاتِ الكلمات التي تصِفُ طريقةَ عمَلِها. فمُفاعِلُ مَجْنوكْس إي جي آر هو مُفاعِلٌ مُتَقدِّمٌ غازِيُّ التَّبْريد؛ وكذلك الحالُ في مُفاعِل الماءِ المَضغوط، ومُفاعلِ الماءِ المُغْلَى، وكَنْدو (مفاعلِ اليُورانيوم والدوتِريوم الكَنَديّ)، ومُفاعلِ الماءِ الثقيل مُولِّد البُخار، ومُفاعلِ درجات الحرارة العالية، والمُفاعلِ الرُّوسيّ - مُفاعِلِ الأنابيب النَّفقيَّةِ المُهَدَّأَةِ بالغرافيت. فهٰذه جميعُها أنواعٌ من المُفاعِلاتِ الحراريَّة.

مُفاعِلُ مَحطَّةِ القُدْرة في غرونْد بألمانيا هو من نَوع مُفاعلاتِ الماءِ المَضغوط؛ وهو النَّوعُ الأكثَرُ شُيوعًا حاليًّا. المَبْنى المُقَبَّبُ إلى يَسارِ المَرْكزِ مُباشَرةً هو حُجْرةُ المُفاعِلات.

جَرى تطويرُ مُفاعِلِ الماءِ المَضغوط في الولايات المتحدة الأمريكيَّة، وفي الاتِّحادِ السوڤياتي السابِق، كوَحْدةِ قُدْرةٍ لِلسُّفُن والغَوَّاصات. وهو الآنَ المفاعِلُ الأكثَرُ استِخْدامًا عالميًّا لِتوليد الكهرباء بين مُختلفِ أنواع المُفاعِلاتِ النوويَّة. وهذا المُفاعِلُ يَسْتَخدِمُ الماءَ العاديَّ، على ضَغْطٍ شَديدٍ، كمُبَرِّدٍ (لإعادَةِ تكثيف البُخار) وكمُهدِّئٍ (لِتَبْطئةِ سُرعةِ النيوتْرونات). والمُفاعِلاتُ التي تَستَخْدِمُ الماءَ العاديَّ على هذا النَّحو تُسَمَّى أيضًا مُفاعلاتِ الماءِ العاديّ.



صُفوفٌ من المَقاليد (المَفاتيح الكهربائيَّة) تُحِيلُ الكهرباءَ من مُولِّداتِ مَحطَّةِ القُدْرةِ النوويَّة إلى الكُبُول – التي بدَورِها تَنْقُلُ الكهرباءَ إلى المُدُنِ والمَصانعِ المُجَاورة.

وَقُودُ المُفاعِل الحراريّ

تَختلِفُ المُفاعِلاتُ الحراريَّةُ واحِدُها عن الآخَر بنَوعيَّتي المُبَرِّد والوَقُود المُستَخْدَمَيْن. فبَعضُها يَستَخْدِمُ غازًا لاستِخْلاصِ الحَرارةِ من المُفاعل، والبعضُ الآخرُ يَستَخْدِمُ مُبَرِّدًا سائليًّا. وفي حين تَستَخْدِمُ جميعُ المُفاعلاتِ الحراريَّةِ وَقُودَ اليورانْيُوم، فإنَّ كميَّاتِ يو 235 وَ يو 238 في الوَقُود تَختلِفُ في كُلِّ نَوع.

مُعْظمُ المُفاعلاتِ الحراريَّةِ تَستَخْدِمُ وَقُودَ اليُورانيوم المُزَوَّدَ (أو المُخَصَّبَ). وهو يُورانيوم جَرتْ مُعالجَتُه ليَحْوي قَدْرًا من يو 235 أكثَرَ مِمَّا يَحْتَويه اليُورانيوم الطبيعيّ. إنَّ تَعْزيزَ كميَّةِ يو 235 في الوَقُود تَزيدُ من فُرَصِ حُدوثِ الإنْشِطاراتِ النوويَّة. وبزِيادةِ سُرعةِ الإنْشِطار تَزْدادُ الحرارةُ الناتجة – مِمّا يَزيدُ خَرْجَ المُفاعِلِ من القُدْرة. فقَط نَوعانِ من المُفاعِلاتِ الحراريَّةِ تَستَخْدِمُ اليُورانيوم الطبيعيّ، دونَ اليُورانيوم المُزوَّد، هما مَجْنوكْس وكَنْدو.

المُفاعِلاتُ السَّريعة

المُفاعِلاتُ السَّريعةُ تَستَخْدِمُ اليُورانيوم بفعاليَّةٍ أكثرَ من المُفاعِلاتِ الحراريَّة. فالمُفاعلاتُ الحراريَّةُ تُحَوِّلُ حوالى ثُلُثِ الطاقة الحراريَّةِ من الوَقُود إلى كهرباء؛ فيما تُحَوِّلُ المُفاعِلاتُ السَّريعةُ حوالى نِصْفِ الطاقة الحراريَّة إلى كهرباء. ويُمكِنُ استِخْدامُ نُفاياتِ اليُورانيوم من المُفاعلات الحراريَّة وَقُودًا في المُفاعلاتِ السَّريعة، التي تَسْتَخْدِمُ مَزيجًا من اليُورانيوم والبلوتونْيوم كوَقُود - حوالَى خُمْسِه من البلوتونيوم.

يَخْضَعُ البلوتونْيوم لِلِانْشطارِ النَّوَويِّ بِسُهولةٍ ويُحافظ على استِمْراريَّةِ التَّفاعُلِ المُتَسلْسِل، فلا تعودُ هناكَ حاجةٌ لِمُهَدِّئ. المُفاعِلاتُ السَّريعةُ صغيرةُ الحَجْم وتُنْتِجُ قَدْرًا وافِرًا من الحرارة. ويُستَخْدمُ فيها الصوديوم السائل كمُبَرِّدٍ لأنَّهُ يَنْقُلُ الحرارةَ بِكِفايةٍ عالية. والاعتِراضُ الرئيسيُّ على استِخْدامِ الصوديوم السائلِ هو أنَّه يتَفَجَّرُ مُلْتهِبًا عندَ مُلامَستِه الماءَ!

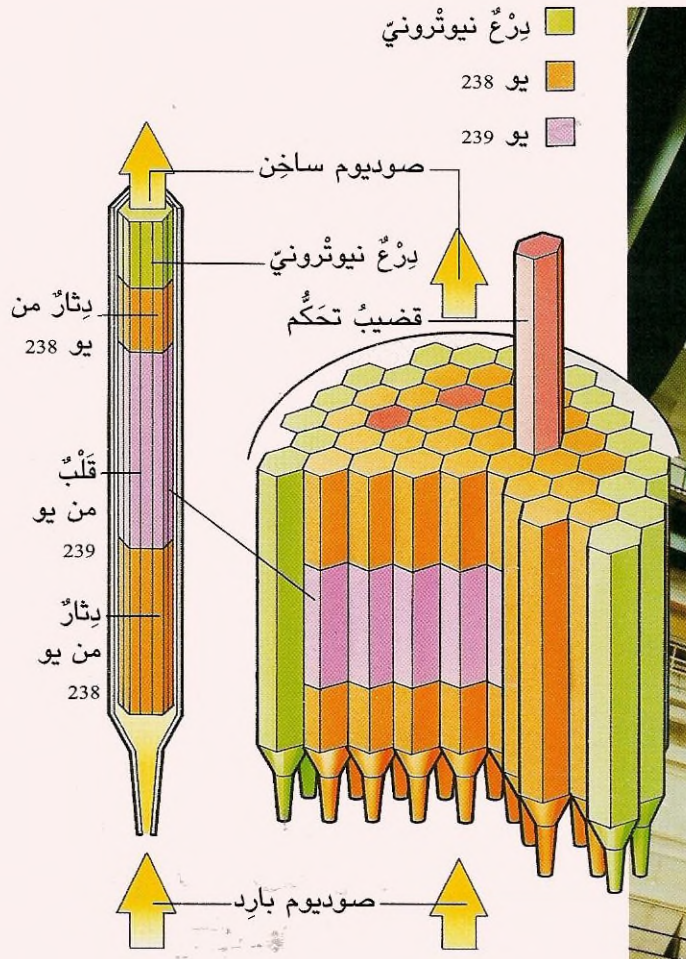
حَقائقُ ومَعْلومات

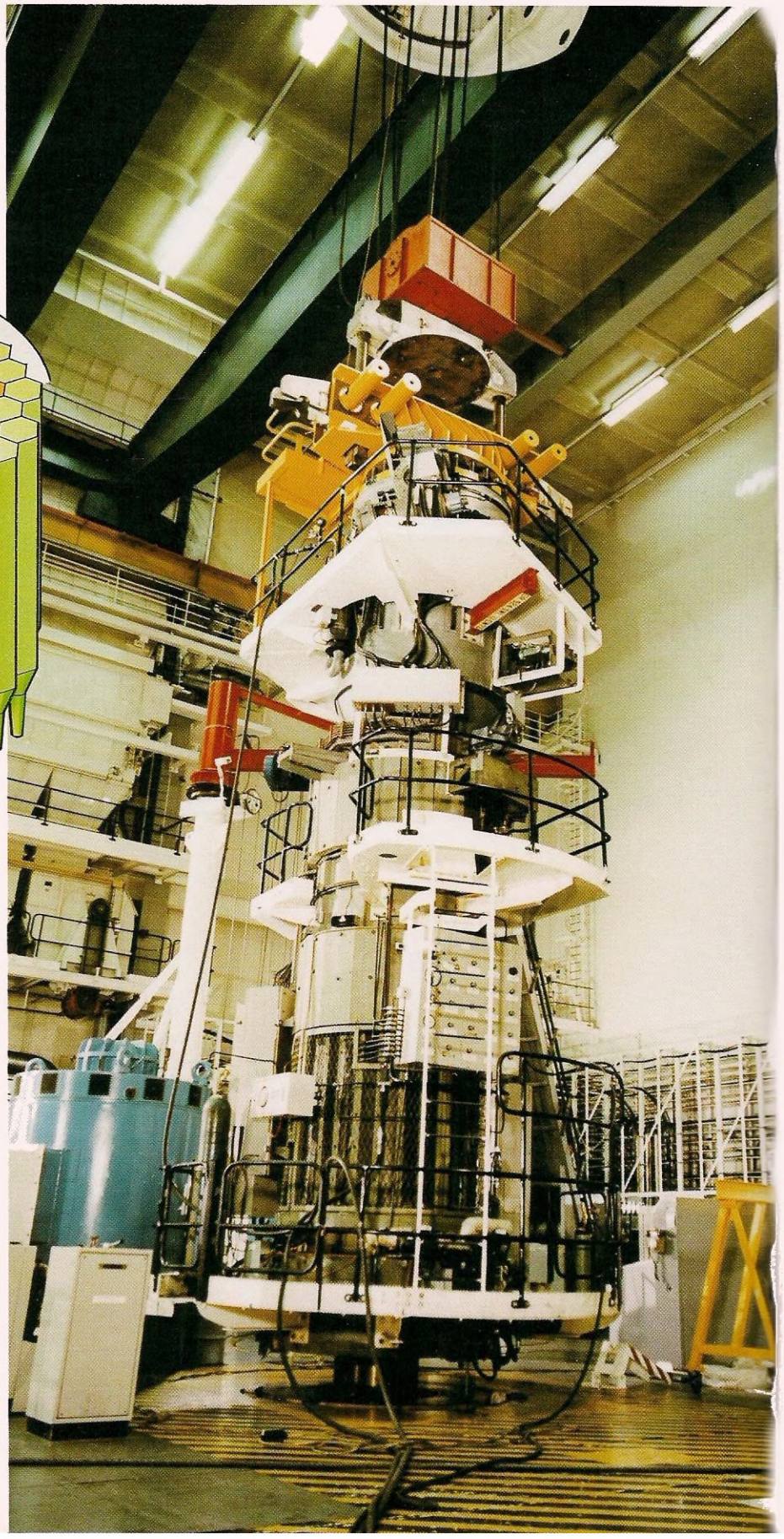
أوَّلُ مُفاعلٍ في العالَم يُنْتِجُ الكهرباءَ كان المُفاعِلَ السَّريعَ المُسَمَّى إي بي آر - 1 (EBR-1) في الولايات المتحدة الأمريكيَّة عامَ 1951. وكان مُفاعِلًا اختباريًّا صُمِّمَ لِلأبحاثِ النوويَّة. أمَّا دَوْنَري فكان أوَّلَ مُفاعلٍ مُوَلِّدٍ سريعٍ صُمِّمَ لإنتاجِ الكهرباءِ تِجاريًّا.

تَوليدُ وَقُودٍ أكثرَ

يُمكِنُ إحاطةُ قَلْبِ المُفاعلِ السَّريع «بدِثارٍ» من اليُورانيوم 238. وهذا اليُورانيوم، عندما يُقْصَفُ بالنيوتْرونات، يَتحَوَّلُ تَدْريجيًّا إلى بلوتونْيوم. لِذا، تُسَمَّى المُفاعِلاتُ السَّريعةُ أيضًا مُفاعِلاتٍ مُوَلِّدةً سَريعةً - لأنَّها تُنْتِجُ، أو تُوَلِّدُ، وَقُودًا أكثرَ مِمَّا تَسْتهلِكُ هي لإنتاجِ الطاقة.

النَّموذجُ الأوَّليُّ لِلمُفاعِلِ السَّريعِ في المملكة المتحدة تضُمُّه قُبَّةٌ بيضاءُ في دَوْنري على السَّاحلِ الإسكتلَنْديّ. وقد صُمِّمَ لإنتاجِ 250 ميغاواط من الكهرباء، ولا يَزالُ قيدَ التشغيلِ منذُ العام 1975.





الحَرارةُ من الوَقُود في قَلْب المُفاعِلِ المُدَمَّج تُسَخِّنُ الصوديوم السائلَ المُبَرِّد. ويُضَخُّ هذا الصوديوم عَبْرَ مُبادِلٍ حراريٍّ، حيثُ يُسَخِّنُ مُبَرِّدًا ثانيًا – أيضًا من الصوديوم السائل. وهذا بدَوره يُسَخِّنُ الماءَ لتَوليدِ البُخارِ الذي يُشَغِّلُ مُولِّدًا تُرْبينيًّا.

تَجميعةُ وَقُودٍ تُنْقَلُ إلى المُفاعِلِ السَّريع في دَوْنري. وهي هنا تُنْزَلُ بالمِرفاع إلى مَوقعِها في أعلى المُفاعِل.

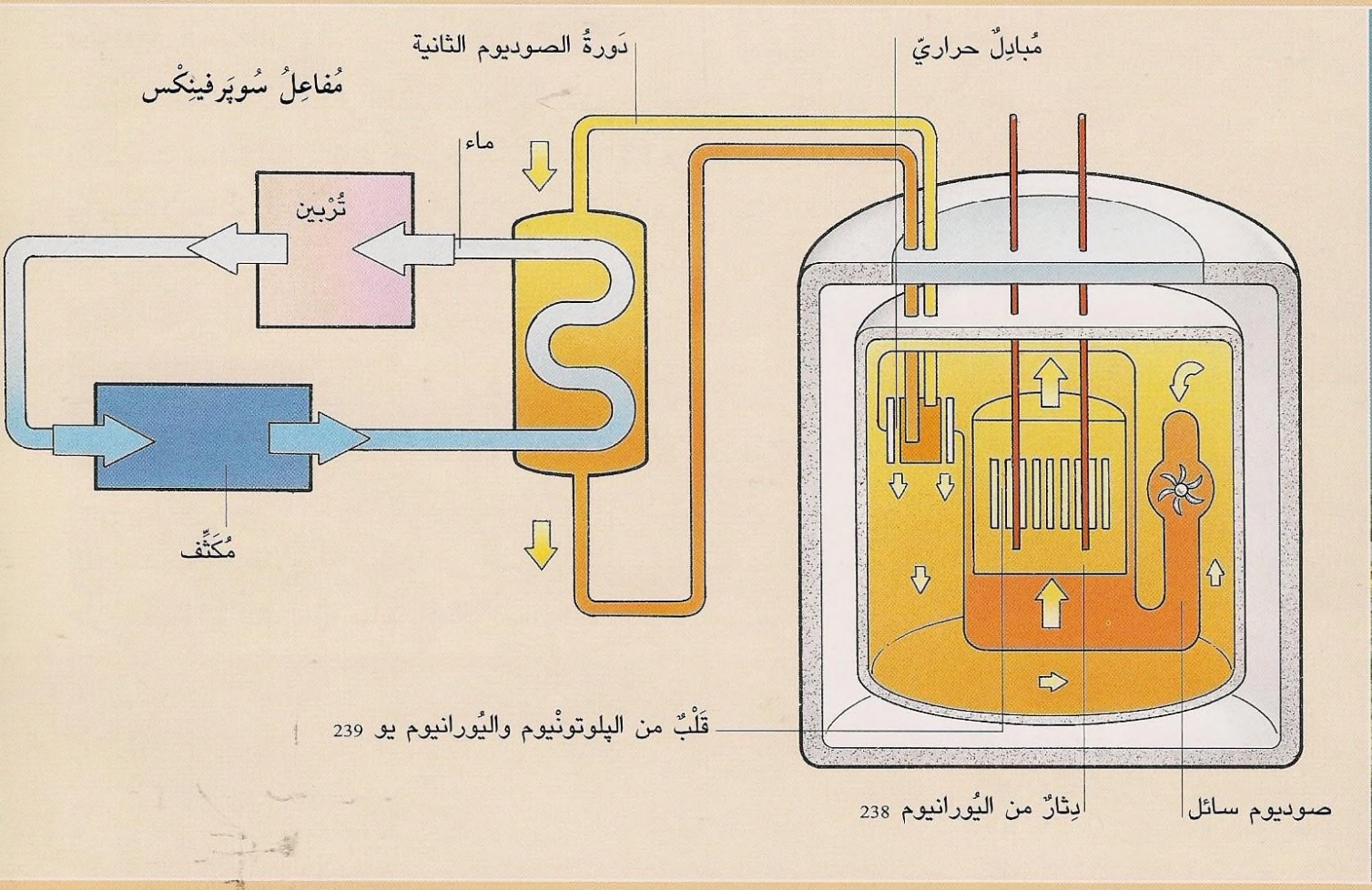
قَلْبُ مُفاعل سُوپَرفينِكْس يَضُمُّه المَبْنى العالي في خَلْفيَّة هذه الصورة. وهو يُبَرَّدُ بحوالى 5000 طُنٍّ من الصوديوم السائل. لِوَقفِ عَمَل المُفاعل ولو موقتًا، يَنْبغي إزالةُ هذا الصوديوم السائل المُبَرِّد – وذلك بتَصْريفه تَدْريجيًّا أثناءَ إزالةِ الوَقُود.

تَحت: حُبَيْباتٌ من وَقُودِ اليُورانيوم والپلوتونْيوم كانت مُكَدَّسةً في أنابيبَ فُولاذيَّةٍ داخِلَ قَلْب سُوپَرفينِكْس – المُفاعلِ المُولِّدِ السَّريع الفرَنْسيّ. وقد استُخدِمَ فيه أكثَرُ من 10 000 حُبَيْبة.

مِنَ الإنتاجِ إلى الأَبْحاث

المُفاعِلُ المُوَلِّدُ السَّريع الأوَّل في فرَنْسا سُمِّي سُوپَرفينِكْس. وقد أُقيمَ في كْري – مَالْقيل، قُرْبَ لِيُون، في السَّبْعينيَّات من القَرْنِ العِشْرين. بُوشِرَ إنشاؤه في كانون الأوَّل (ديسَمْبر) عام 1974 وبدأَ الإنتاجَ في 9 كانون الأوّل (ديسَمْبر) عام 1986؛ وقد أنتَجَ 1240 ميغاواط من الكهرباء.

لقد أُنشِئ سُوپَرفينِكْس كمُفاعِلٍ تِجاريٍّ لإنتاجِ الكهرباء. والمَعْلومُ أنَّ جميعَ المُفاعلاتِ النَّوَويَّة تُرَخَّصُ وتَخْضَعُ لأنظِمةٍ وَطنيَّة ودوليَّة لِضَمانِ تَشْغيلِها بأعلى قَدْرٍ من الأمان. وفي عام 1994، حُوِّلَ ترخيصُ سُوپَرفينِكْس من مُفاعلِ قُدْرةٍ لِتَوليد الكهرباء إلى مفاعِلٍ لِلأَبْحاثِ العِلْميَّة.



وفي شباط (فبراير) عام 1997 أُلغيَ الترخيصُ الجديد لسُوپَرفينِكْس. ففي 19 حَزيران (يونيو) عام 1997، أعلن لِيُونيل جُوسْپان، رئيسُ وُزراء فرَنْسا المُنْتخبُ حديثًا، أنّ سُوپَرفينِكْس سيُوقَفُ عن العَمل نهائيًّا لِارتفاع تكاليفِه.

تِقْنيًّا يُسَمَّى وَقْفُ العَملِ نهائيًّا بمُفاعلٍ نَوَويٍّ وتَفْكيكُه سَحبًا من الخِدْمة. لقد جرى آخِرُ تَشْغيلٍ لسُوپَرفينِكْس في كانون الأوَّل (ديسَمْبر) عام 1996 بَعْدَ 10 سنواتٍ من دُخولِه الخِدْمة.

لقد تَمَّ وضعُ مُفاعِل سُوپَرفينِكْس داخِلَ وِعاءٍ حاصرٍ لِمَنْع انْفلات أيِّ مادَّةٍ مُشِعَّةٍ منه. وقد صُمِّمَ الوعاءُ من ثلاثِ طَبَقات: الخزَّانِ الداخليّ وَوِعاءِ المُفاعل الرئيسيّ وَوِعاءِ الأمان الخارجيّ. وزيادةً في الحيطة فإنَّ المُفاعلَ بكامل أوعيته مَحْصورٌ بدِرْعٍ سَميكٍ من الخَرَسانة.

مُكافَحةُ السَّرَطان

تُستَخْدمُ النَّظائرُ المُشِعَّةُ في الطِّبِّ لِمُعالَجةِ بعضِ الاِعْتِلالاتِ الخَطيرة. والكوبَلْت 60 هو أكثرُ النَّظائرِ المُشِعَّة المُستَخْدمةِ طِبِّيًّا في الوَقْتِ الحاضِر. وكانت الأبحاثُ الأوليَّةُ في الفاعليَّةِ الإشعاعيَّةِ قد بَيَّنت أنَّ الموادَّ المُشِعَّةَ يُمكِنُ أنْ تَحْرِقَ الجِلْد. وفي عام 1904، اكتُشفَ أنَّ إشعاعيَّةَ الرَّاديوم يُمكِنُ استِخْدامُها لِقَتْلِ الخلايا المُعتَلَّة.

مُعالَجةُ المَرْضى بالأَشِعَّةِ تُدعى الاستِشْعاعَ أو المُداواةَ بالأشِعَّة. فحُزَمُ الإشعاعاتِ المُبْتَعثةُ من النَّظائر المُشِعَّةِ يُمكِنُها التغَلْغُلُ عميقًا داخِلَ الجِسْم وقَتْلُ الخلايا السَّرطانيَّة دونَ إلحاقِ الأذى بالنَّسيجِ اللَّحْميِّ السليم الذي تَمُرُّ عَبْرَه. فالأورامُ الخَبيثةُ في أعماقِ الدِّماغ، التي كانت مُستَعْصِيةً على العمليَّاتِ الجِراحيَّةِ سابِقًا، يُمكِنُ مُعالَجتُها الآنَ بالاِسْتِشْعاع.

فوق: صفيفٌ من النَّبائط المُسَمَّاةِ كالُوتْرُونات في المُخْتبَرِ الوَطنيِّ الأمريكيِّ في أُوك رِيدْج يُنْتِجُ نَظائرَ مُشِعَّةً لِاسْتِخْدامِها في مَجالاتِ الطِّبِّ والصِّناعة والاِزْدِراع والأَبْحاثِ في سائر أنحاءِ العالَم.

إمرأةٌ تتلَقَّى تَفْريسةً صَدْريَّةً بأشِعَّةِ غاما لِكَشْفِ توَزُّعِ الواسِمِ المُشِعِّ. تُسْتَخْدمُ التَّفْريساتُ بأشِعَّةِ غاما لِلكَشْفِ عن السَّرطانات في الجِسْم وإبقائها تحتَ السَّيطرة.

يُمكِنُ حَقْنُ الواسِماتِ المُشِعَّة في مَجْرى الدَّم، أو بَلْعُها قُرَيصاتٍ أو كبْسُولاتٍ تَنْتشِرُ تاليًا في سائر أنحاءِ الجِسْم. إنَّ كميَّةَ ما يَمْتَصُّه عُضوٌ من الواسِم تُنْبِئُ الكثيرَ عن أوضاعِه وحُسنِ قِيامه بِعَمله.

الواسِماتُ المُشِعَّة

المَوادُّ المُشِعَّةُ الضعيفةُ التي تُحْقَنُ في جُزْءٍ من الجِسْم يُمكِنُ ٱقتِفاؤها أثناءَ ٱنتقالِها إلى أجزاءٍ أُخرى من الجِسْم. وبِرَبْطِ المادَّةِ المُشِعَّةِ بِطعامٍ أو عَقّارٍ، يُمكِنُ دراسةُ طريقةِ ٱمْتِصاصِ الجِسْم لذلك الطَّعامِ أو العقَّار وأينَ يَنْتهي به المَطاف.

الغُدَّةُ الدَّرَقيَّةُ تتَشَرَّبُ اليُود 131 ، مُتيحةً بذلكَ طريقةً لِقياس مَدى فَعاليَّةِ هذه الغُدَّة. كذلك فإنَّ الدماغَ يَتَشَرَّبُ نَظائرَ مُشِعَّةً أُخرى من الدم، فيُوَفِّرُ ذلك طريقةً لِقياسِ النَّشاطِ في مُختلف أجزاءِ الدِّماغ.

مَرْكباتٌ تعمَلُ بالقُدْرةِ النَّوَويَّة

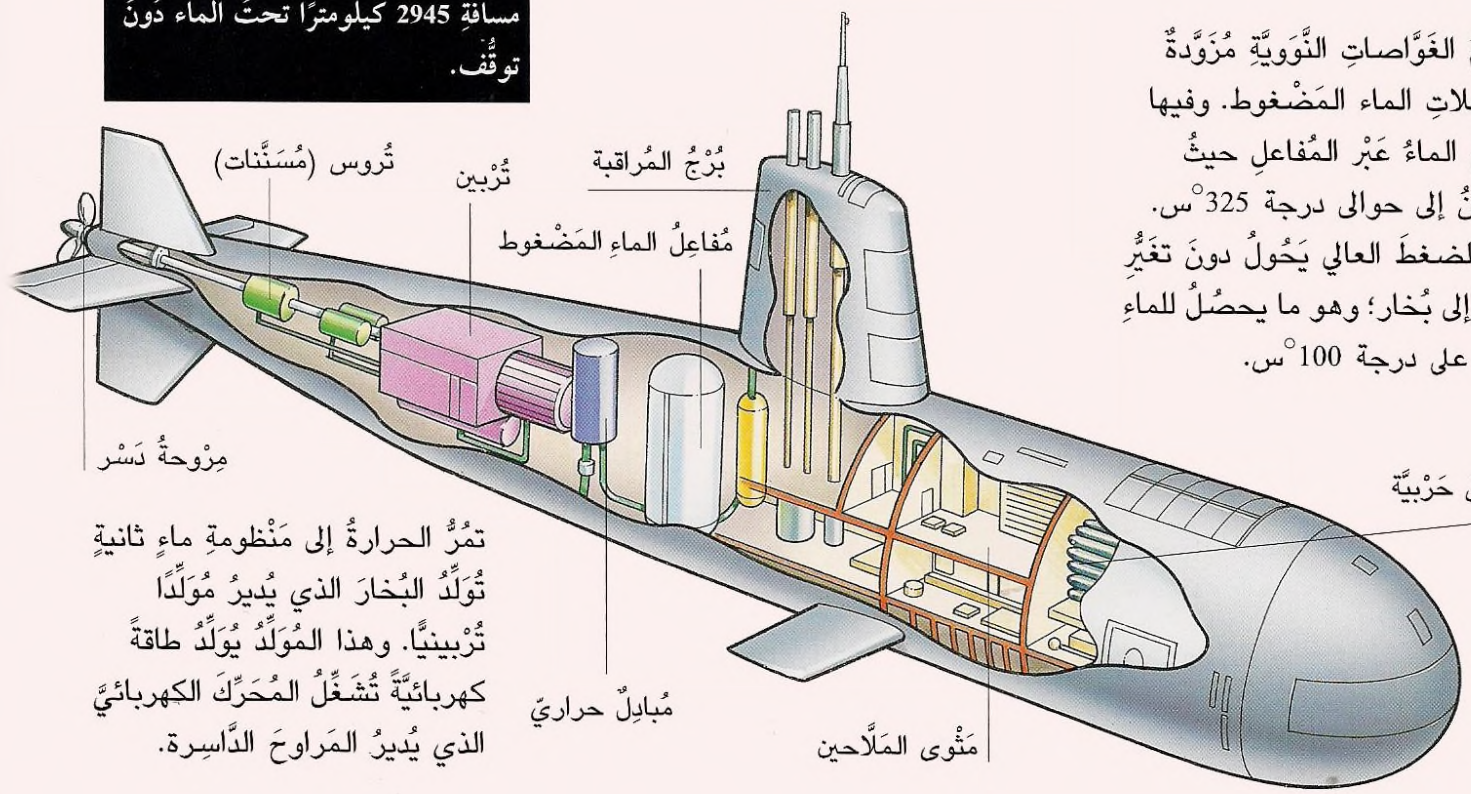
المُفاعِلاتُ النوويَّةُ الصغيرةُ الخَفيفةُ الوَزْن يُمكِنُها تَزْويدُ المَرْكباتِ بالقُدرةِ – بخاصَّةٍ السُّفُنُ والغَوَّاصاتُ والمَرْكباتُ الفَضائيَّة. وبسبَبِ التكاليفِ الباهِظةِ لِتَطْويرِ التِّقانيَّاتِ النوويَّة وصُعوباتِ تَشْغيلِها والأخطارِ الناجِمةِ عن العَملِ بالإشعاعات، فإنَّ غالبيَّةَ المَرْكباتِ العاملةِ بالقُدْرةِ النَّوَويَّةِ هي مَرْكباتٌ عَسْكريَّة.

إنَّ تَسْييرَ الغَوَّاصاتِ بقُدْرةِ المُفاعِلاتِ النوويَّةِ يُمَكِّنُها من البَقاءِ مَغْمورَةً عِدَّةَ أشهُرٍ في كُلِّ مَرَّة – مُختَفِيةً تحتَ الماء وقادرةً على التَّطْوافِ في مُحيطاتِ العالَم مُتَواريةً عن الأنظار. السَّفينةُ المَدَنيَّةُ الأُولى العاملةُ بالقُدْرةِ النوويَّة كانت السّڤانا، وهي سَفينةُ شَحْنٍ حُمولَتُها 22 000 طُنٍّ، وقد بُنِيَتْ في الولاياتِ المتحدة الأمريكيَّة عام 1962. كذلك بُنِي في روسيا كاسِحاتُ جَليدٍ تعمَلُ بالقُدْرةِ النوويَّة. لكِنَّ التكاليفَ الباهظةَ والأخطارَ المُرتبِطةَ بالقُدْرةِ النوويَّة حَدَّتْ من رواجِيَّةِ المَرْكباتِ العاملةِ بهٰذه القُدْرة.

حَقائقُ ومَعْلومات

الغوَّاصةُ الأُولى العاملةُ بالقُدْرةِ النوويَّة كانتِ الغوَّاصةَ نُوتيلَس التَّابعةَ لِلبَحْريَّة الأمريكيَّة. فقد دُشِّنَتْ عام 1954، وسُرعانَ ما حَطَّمتْ كُلَّ الأَرْقامِ القياسيَّة التي سجَّلتها سائرُ الغَوَّاصاتِ السابقة – من حيثُ السُّرعَةُ وفَترةُ البقاءِ تحتَ الماء. وفي عام 1958، أصبحتْ نُوتيلَس الغَوَّاصةَ الأُولى التي حَقَّقتْ قَطْعَ المسافةِ من المُحيط الأَطْلسيّ إلى المُحيطِ الهادي تحتَ القَلَنْسُوةِ الجَليديَّةِ القُطْبيَّةِ الشماليَّة. لقد مَكَّنَتْها القُدْرةُ النوويَّةُ من قَطْعِ مسافةِ 2945 كيلومترًا تحتَ الماء دُونَ توقُّف.

مُعْظمُ الغَوَّاصاتِ النَّوَويَّةِ مُزَوَّدةٌ بمُفاعلاتِ الماء المَضْغوط. وفيها يُضَخُّ الماءُ عَبْر المُفاعِلِ حيثُ يُسَخَّنُ إلى حوالى درجة 325°س. لكِنَّ الضغطَ العالي يَحُولُ دونَ تغَيُّرِ الماءِ إلى بُخار؛ وهو ما يحصُلُ للماءِ عادةً على درجة 100°س.

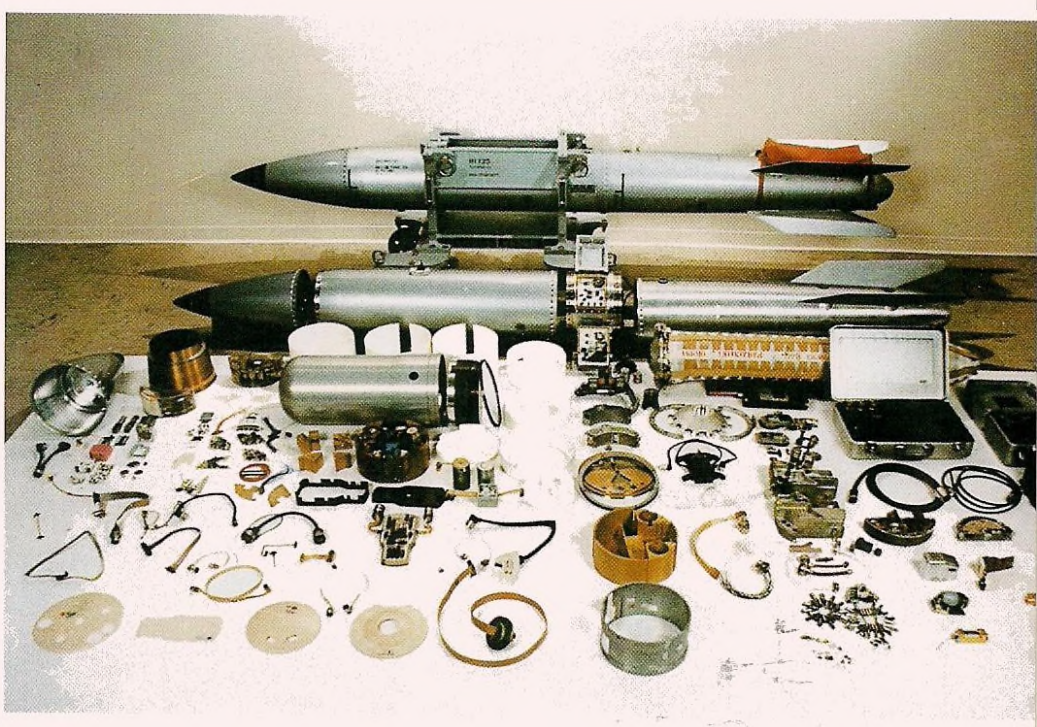


تمُرُّ الحرارةُ إلى مَنْظومةِ ماءٍ ثانيةٍ تُوَلِّدُ البُخارَ الذي يُديرُ مُوَلِّدًا تُرْبينيًّا. وهذا المُوَلِّدُ يُوَلِّدُ طاقةً كهربائيَّةً تُشَغِّلُ المُحَرِّكَ الكهربائيَّ الذي يُديرُ المَراوحَ الدَّاسِرة.

الغَوَّاصاتُ النوويَّةُ تَسْتطيعُ البقاءَ تحتَ الماءِ فَتْرةً أطولَ بكثيرٍ من الغَوَّاصاتِ العاملةِ بمُحَرِّكاتِ الدِّيزِل. فالمُحَرِّكاتُ النوويَّةُ لا تَحْرِقُ وَقُودَها؛ وهي بالتالي تعمَلُ دُونَ إنتاجِ أَدْخِنَةٍ ودُونَ استِهْلاكِ الأُكسِجينِ الحيَويِّ للملَّاحين.

مَرْكباتٌ فَضائيَّةٌ بالقُدْرةِ النوويَّة

مُعْظمُ الآلاتِ في المَرْكباتِ الفَضائيَّةِ، من راديواتٍ وكاميراتٍ، مُزَوَّدةٌ بِطاقةٍ كهربائيَّةٍ تُولِّدُها مأطوراتٌ شَمْسِيَّةٌ من ضوءِ الشَّمْس. لكنْ مع تَزايُد بُعْدِ المَرْكبةِ الفَضائيَّةِ عن الشَّمْس، يَتناقَصُ ضوءُ الشَّمْسِ اللَّازِمُ لِتوليدِ الكهرباء. فوَراءَ مَدارِ المِرِّيخ مَثلًا، لا يَتوفَّرُ ما يكفي من الضوءِ لاستِخْدامِ المأطوراتِ الشمسِيَّة. لِذا فإنَّ السَّوابِرَ الفضائيَّةَ المُرْسَلةَ لِدِراسةِ كواكبِ النِّظامِ الشَّمْسيِّ الخارجيَّة – المُشتري وزُحَلَ وأُورانوسَ ونپتون وپلوتو – كما لِدراسةِ الكُوَيْكباتِ والمُذَنَّباتِ، تُزَوَّدُ بِمُفاعِلاتٍ نَوَويَّةٍ صُغرِيَّة.

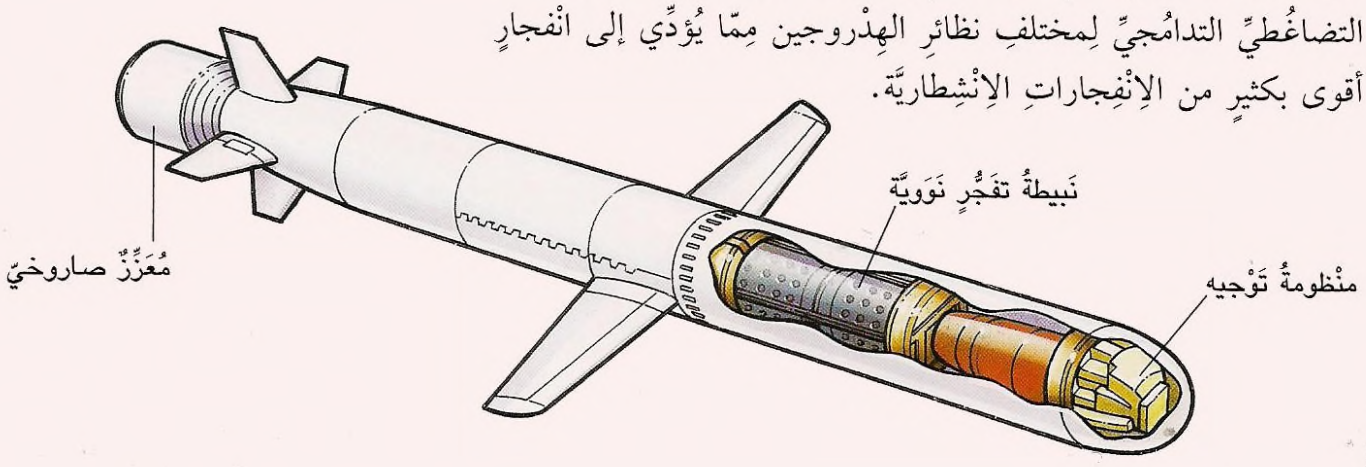


السِّلاحُ النوويُّ نَبيطةٌ مُعَقَّدة. فالأجزاءُ التي تتألَّفُ منها هذه القُنْبلةُ النوويَّة الأمريكيَّة من طِراز بي – 61 (B-61) تَزيدُ على 6000 جُزْءٍ.

الأسلِحةُ النوويَّة

الكَشفُ العِلميُّ أنَّ كميَّاتٍ ضَئيلةً من المادَّة يُمكِنُ تَحويلُها إلى كمِّياتٍ هائلةٍ من الطاقة أثارَ اهتِمامًا عَظيمًا في أوساطِ العَسكريين. فالكيلوغرام الواحِدُ من المادَّةِ إذا تحوَّلَ بالكاملِ إلى طاقةٍ يُنْتِجُ طاقةً تُعادِلُ تَفْجيرَ 22 مليونَ طُنٍّ من المُتفَجِّراتِ العاديَّة. القنابِلُ النوويَّةُ الأُولى كانَت أسلِحَةً انْشطاريَّةً تعمَلُ بالدكِّ التضاغُطيِّ لما يكفي من البلوتونْيوم لإحداثِ زيادةٍ فائقةٍ في سُرعةِ الاِنْشِطاراتِ تُؤدِّي إلى انْدِفاقٍ تفَجُّريٍّ هائلٍ من الطاقة، هو الاِنْفِجارُ النَّوَويّ. ثُمَّ تلَتْها القنابِلُ الهدروجينيَّة، التي تعمَلُ بالدكِّ التضاغُطيِّ التدامُجيِّ لِمختلفِ نظائرِ الهِدْروجين مِمّا يُؤدِّي إلى انْفجارٍ أقوى بكثيرٍ من الاِنْفِجاراتِ الاِنْشِطاريَّة.

تَحت: المَقذوفُ النوويُّ هو صاروخٌ مُزَوَّدٌ برأسٍ نَوَويّ. والصواريخُ الأضخَمُ قد تتألَّفُ من ثلاثِ مَراحِلَ؛ كُلُّ مَرْحلةٍ منها هي صاروخٌ مُستَقِلٌّ يَسْقُطُ بعدَما يُستَهْلَكُ وَقُودُه لِتَخْفيفِ الوَزْن. والمَرْحلةُ الأَخيرةُ هي التي تحمِلُ الشِّحنةَ النوويَّةَ أو الرأسَ الحربيَّ، إلى هَدَفِه. بعضُ القذائفِ النوويَّةِ مُصَمَّمٌ لِيَنْفَجِرَ عندَ الاِرْتطامِ بالهَدَف؛ وبعضُها الآخرُ مُصَمَّمٌ لِيَنْفجِرَ في الجَوِّ فوقَ الهَدَف.



اِستِقْداحُ الاِنْفِجارات

الكميَّةُ الدُّنيا من المادَّة اللازمةِ لإحداثِ تَفاعُلٍ مُتَسلْسِلٍ جامِحٍ وتفَجُّرٍ تُسَمَّى الكُتْلةَ الحَرِجة. في السِّلاحِ الاِنْشِطاريِّ تُستَخْدمُ المُتفَجِّراتُ العاديّةُ لِدَكِّ قِطَع البلوتونيوم معًا لِتكوين الكُتْلةِ الحَرِجةِ التفَجُّريَّة. أمَّا في القُنْبلةِ الهِدْروجينيَّة، وهي سِلاحٌ انْدِماجيٌّ، فتَتأتَّى القُدْرةُ التفَجُّريَّةُ من الطاقةِ المُنطَلِقةِ نَتيجةً لِتضامٍّ أو اندِماجِ نَوَى العناصِرِ الخفيفة - وليسَ انْفِلاقَ نَوَى العناصِرِ الثقيلة. لكِنَّ القُنْبلةَ الهِدْروجينيَّةَ تحتاجُ إلى قُنْبلةٍ انْشِطاريَّةٍ لِاسْتِقْداحِها - فتِلكَ هي الوسيلةُ الوحيدة لِتَوليدِ دَرَجاتِ الحرارة العاليةِ اللازمة لِحُدوثِ الاِنْدِماج.

خَبيرٌ تِقْنيٌّ في حُجْرة الأمان المُحَصَّنةِ ضِدِّ الإشعاعات في موقِع المُفاعِلِ المُوَلِّدِ السَّريع في دَوْنري، بالمملكة المتحدة يَدْرسُ نُفاياتِ البلوتونْيوم. الوَقُودُ المُشَعَّعُ من المُفاعِل يُفْرَزُ إلى بلوتونْيوم ويُورانيوم ونُفايات. بعضُ البلوتونيوم المُستَعادِ يُستَخْدَمُ في صُنْعِ أسلِحةٍ نَوَوِيَّة.

حَقائقُ ومَعْلومات

الغوَّاصاتُ المُسَلَّحةُ بالقذائفِ النوويَّة تَطوفُ مُحيطاتِ العالَمِ في دوريَّاتِ حِراسةٍ وتَفَقُّد. والمَعلومُ أنَّ الأسلِحةَ النوويَّةَ لم تُستَخْدمْ إلّا مرَّتَيْن في القُنْبلتَيْن اللتين أسقَطَتْهُما الطائراتُ الأمريكيَّةُ على اليابان عام 1945. في ذلك الوقت، كانتِ الولاياتُ المتحدة الأمريكيَّة البلدَ الوحيدَ الذي يَمتلِكُ أسلِحَةً نَوَويَّة. ومنذُئذٍ طوَّرَتْ 9 بُلدانٍ أُخرى أسلِحتَها النوويَّةَ الخاصَّة.

مُستَقْبَلُ القُدْرةِ النَّوَوِيَّة

الإنْدِماجُ النَّوَويّ

يُتوَقَّعُ أنْ تعملَ مَحطّاتُ القُدْرةِ النوويَّة تَوالي هذا القَرن بطريقةٍ مُختلِفةٍ مُستَخْدِمةً وَقُودًا أكثَرَ أمانًا – كونَهُ عديمَ الإشعاعيَّةِ ولا يُنْتِجُ نُفاياتٍ مُشِعّةً. هذا الوَقُودُ هو الهِدْروجين. إنَّ نَوَى الهِدْروجين، إذا اندكَّت، بقُوَّةٍ كافيةٍ، فإنَّها تتّحِدُ معًا مُنْتِجَةً نَوى هِليوم ودَفْقًا هائلًا من الطاقة. وهٰذا هو مَبْدأُ القُنْبُلة الهِدْروجينيَّة. لكِنَّ تفاعُلَ الإنْدِماجِ هذا والطاقةَ المُنْطلِقَةَ منه لَيسا تحتَ السَّيطرة. والتحَدِّي المُستَقْبليُّ هو تَصْميمُ مُفاعلٍ يُمَكِّنُ من التَّسْخير المأمونِ لِطاقةِ الاندماجِ النَّوَويّ في إنتاجِ الكهرباء.

القُدْرةُ النَّجْميَّة

الإنْدِماجُ النَّوَويُّ يَتطَلَّبُ دَرَجاتِ حرارةٍ تَبْلُغُ الملايينَ لِتَجْعلَ النَّوَى تتحَرَّكُ وتَتصادَمُ بِسُرعةٍ وقُوَّةٍ كافيتَيْنِ لِجَعْلِها تَنْدمِجُ معًا. والمكانُ الوحيدُ في الطبيعةِ الذي تَتوَفَّرُ فيه ظُروفُ الإنْدماجِ النَّوَويِّ هو في قَلْبِ النُّجُوم. والعُلماءُ ما انفكُّوا يُحاولونَ إقامةَ مُفاعلٍ نَوويٍّ يعمَلُ كما هي الحالُ في قَلْبِ الشَّمْس. وهُم، في الواقِع، تَوصَّلوا إلى تحقيقِ ذلك؛ لكِنَّ المُفاعلَ لا يعمَلُ إلّا لِبِضْعِ ثوانٍ فقَط في كُلِّ مَرَّة.

ولِتَوليدِ الكهرباء بشَكْلٍ مُجْدٍ، يَنْبَغي أنْ يعمَلَ المُفاعلُ الإخْتِباريُّ بشَكْلٍ يُتحَكَّمُ به ويُعَوَّلُ عليه على مَدى عَشَراتِ السِّنين. والمَعلومُ أنَّ مُفاعِلاتِ الإنْدِماج تَسْتَخْدِمُ نَظيرَي الهِدْروجين النادِرَيْن – الدوتِريُوم والترشيُوم. الدوتِريوم يُمكِنُ الحُصولُ عليه من الماء، والترشيوم يُمكِنُ تَحْضيرُه من الليثيوم – الذي هو فلِزٌّ خفيفٌ يتواجَدُ في الصَّخْر وفي الينابيعِ المَعْدنيَّة. الدوتِريوم والترشيوم، كلاهُما، أثقَلُ من الهِدْروجين العاديِّ، وهُما يَنْدمِجان بِسُهولةٍ أكثَرَ.

حَقائقُ ومَعْلومات

يُقدِّرُ الخبراءُ أنَّ انْدِماجَ 15 غرامًا من الترشيوم وَ 10 غرامات من الدوتِريوم فقَط يُنْتِجُ طاقةً كهربائيَّةً تكفي لِسَدِّ احْتياجاتِ شَخْصٍ واحدٍ مَدى الحياة. الهِدْروجين والدوتِريُوم مُتوفِّران في ماءِ البَحْر – فالدوتِريُوم المُتواجدُ في لِتْرٍ واحدٍ من ماء البَحْر يُنْتِجُ طاقةً تُعادِلُ الطاقةَ المُوَلَّدةَ من حَرْقِ 300 لِتْر من البِنْزين.

لو كانت كُلُّ الكهرباء التي نَستَهْلِكُها مُوَلَّدةً من القُدْرةِ النوويَّة، لكانَ يُمكِنُ احتواءُ النُّفاياتِ المُشِعَّةِ المُنْتَجةِ في توليد الكهرباء، التي يستَهْلِكُها شَخصٌ مَدى الحياة، في قالَبٍ زُجاجيٍّ بحَجْمِ راحةِ اليَد.

في مُخْتبراتِ سَانْديا القَوميَّة في الولايات المتحدة الأمريكيَّة، تَمِض (تومِضُ) الكهرباءُ مُؤتلِقَةً فوقَ سَطْحِ الماءِ حاجِبةً مُسارِعَ ٱنْدماجِ الحُزَم الجُسَيْميَّة. هنا حُزْمةٌ من الجُسَيْماتِ الذرِّيَّةِ تُطْلقُ عليها حُبَيْبةٌ من الدوتِريُوم والترِشيوم مُحْدِثةً تفاعُلًا نوويًّا انْدِماجيًّا. وهذا التفاعُلُ يَدُومُ لَحْظةً فقَط، لكِنَّه يُوَلِّدُ أكثرَ من خمسةِ مَلايين ميغاواط.

مُفاعِلُ طُوروس الأوروبيُّ المُشْتَرك إنشاءٌ بِنْيَويٌّ ضَخْم. المُحَوِّلُ الأحمَرُ اللَّوْنِ الثُّمانيُّ الأَرْجُلِ، الذي يُحِيطُ بقَلْبِ المُفاعِل ويُوَلِّدُ المَجالاتِ المِغْنَطيسيَّةَ القويَّةَ اللَّازمة لِاحْتِواءِ الوَقُود بداخلِه، يَزِنُ 2700 طُنّ.

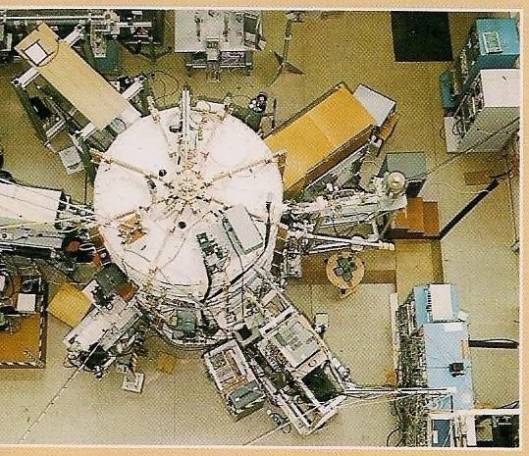
حَقائقُ ومَعْلومات

مُفاعِلاتُ الِاندماج، كمُفاعِلِ طُوروس الأوروبيِّ المُشْتَرك، يُسَمَّى الواحِدُ منها توكاماك. واللفظُ تُوكاماك مُرَكَّبٌ من أجزاءِ كلِماتٍ رُوسيَّة تَعْني حُجْرةً مِغْنَطيسيَّةً حَلْقيَّة (لِاحتواءِ البِلازْما). وكان الفيزيائيُّ الرُّوسيُّ لِفْ أنْدريڤِتْش أرْسيموڤِتْش قد اخترعَ هذا الجهازَ واستَخْدمَهُ لِلمَرَّةِ الأُولى عامَ 1963.

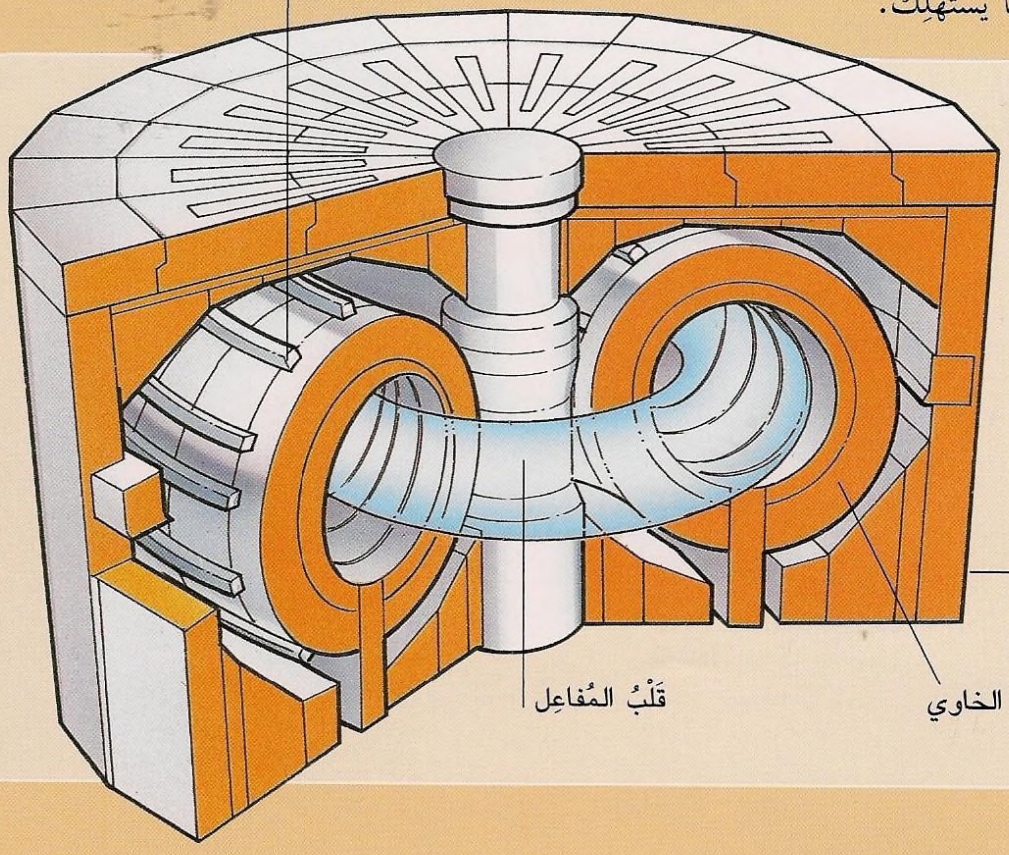
الوَقُودُ الحارّ

مُفاعِلُ طوروس الأوروبيُّ المُشْتَرك هو مُفاعِلُ ٱنْدماجٍ نَوَويٍّ اخْتِباريٌّ أُقيمَ في مُخْتَبَرِ كَلْهام قُرب أُكْسفورد، بإنكلترا، وبُدِئَ بتَشْغيلِه عامَ 1983. وقد بلغَتْ تكاليفُ إنشائه 500 مِليون دولار – أسهمَتْ في دَفْعِها بُلدانُ الاتِّحاد الأوروبيّ.

وَقُودُ الدوتِريوم والترِشيوم في هذا المُفاعل يُمسِكُهُ مَجالانِ مِغْنَطيسيَّان – أحَدُهما يُولِّدُه 32 مِغْنَطيسًا كهربائيًّا بشَكْل حَرْف D؛ ويُوَلَّدُ الآخَرُ بواسطةِ تيَّارٍ كهربائيٍّ هائلٍ، يَبْلُغُ 7 ملايين أمپير، يَسْري عَبْرَ الوَقُودِ نَفْسِه ويُسَخِّنُه. وتُوَفِّرُ تمَوُّجاتٌ راديويَّةٌ لِلوَقُودِ تَسْخينًا إضافيًّا بحيثُ تَفوقُ درجةُ حرارته 100 مليون°س. وعلى مِثْلِ دَرجةِ الحرارةِ الفائقةِ هذه، تُجَرَّدُ الذرَّاتُ من إلِكتروناتِها وتَبْقى نَواها فَقط. وتُسَمَّى المادَّةُ الفائقةُ الإحرار في هذه الحالةِ پْلازْما حيثُ تَتَراطَمُ فيها نَوَى الذرّات وتَتَدامَج. ويَتَطلَّبُ تكوينُ البلازْما واحْتواؤها كميَّاتٍ هائلةً من الطاقة. والتحَدِّي الماثِلُ أمام مُصَمِّمي مُفاعِلِ طُوروس الأوروبيّ المُشْتَرك هو حَفْزُ المُفاعِلِ إلى إنتاجِ طاقةٍ أكثَرَ مِمَّا يَسْتَهْلِك.



مَنْظرٌ عُلْويٌّ لِسْتَارْت – التوكاماك الصَّغير ذي النِّسبةِ الباعيَّةِ المُضَيَّقَة – في مَرْكز كَلْهام العِلميِّ في المملكة المتحدة. وسْتَارْت هذا هو نَبيطةُ انْدِماجٍ اخْتِباريَّةٌ.



قَلْبُ مُفاعِل طوروس الأوروبيِّ المُشْتَرك هو حَلْقةٌ فلِزِّيَّةٌ قُطْرُها 6 م وارْتِفاعُها 4,2 م، وتَزِنُ 100 طُنّ. وقبْل إدخالِ وَقُودِ الدوتِريوم والترِشيوم إلى قَلْبِ المُفاعِل يُضَخُّ كُلُّ الهواءِ خارجًا.

مَسْردُ التَّعْريفات

إشعاعاتٌ نَوَويَّة جُسَيْماتٌ أو تموُّجاتٌ كهرُمغنيطيَّة تَبْعثُها النَّوَى الذرِّيَّة. Nuclear radiation

أشِعَّةُ غاما تموُّجاتٌ كهرُمغنيطيَّةٌ بالِغةُ قِصَرِ الطُّول المَوجيّ تُبْعَثُ من التفاعُلات النوويَّة – كالاِنْشطارِ النَّوَويِّ مثلًا. Gamma rays

اِضْمِحلالٌ إشعاعيّ تغَيُّرٌ في نَواةِ الذرَّة عندما تَبْعثُ إشعاعات. Radioactive decay

إعادةُ المُعالَجة مُعالَجةُ الوَقُود من مُفاعلٍ نَوَويٍّ لِفَصْلِ النُّفايات من المادَّة التي يُمكِنُ استِخْدامُها كوَقُودٍ ثانيةً. Reprocessing

اِنْدماجٌ نَوَويّ تَصادُمٌ بينَ نواتَيْن خَفيفتَيْن يَنْتُجُ عنه تَضامٌّ أو اِنْدِماجٌ بينهما لِتكوين نواةٍ أكبرَ يُرافِقُه عادةً انْطلاق بعض الطاقة. Nuclear fusion

اِنْشِطارٌ نَوَويّ فَلْقُ النَّواة. والاِنْشطارُ قد يَحْدثُ طبيعيًّا (اِنْشطارٌ تِلقائيّ) أو عندما تأسُرُ النَّواةُ جُسَيْمًا آخر (اِنْشطارٌ مُحَرَّض). Nuclear fission

البلوتونْيوم عُنْصرٌ ثقيلٌ فِضِّيُّ اللَّون عالي الإشعاعيّة. يُستَخْدمُ وَقُودًا في بعضِ المُفاعِلات النوويَّة وأيضًا في صُنْعِ الأَسْلِحةِ النوويَّة. Plutonium

تُرْبين مَكِنةٌ تَسْتخدِمُ طاقةَ الحركة في غازٍ أو سائلٍ لِتَدْويمِ عَمودِ إدارة. Turbine

توكاماك نوعٌ من مُفاعلاتِ الاِنْشطار النَّوَويِّ الاِخْتِباريَّة. Tokamak

جُسَيْم ألْفا جُسَيْمٌ تَقْذِفُه ذرَّةٌ أثناءَ اِضْمِحلالها. وهو يَضُمُّ بروتونَيْن ونيوترونَيْن، كما نواةُ ذرَّة الهِلْيُوم. Alpha particle

جُسَيْم بِيتا إلِكترون أو پوزِتْرون (إلكترون مُوجِبُ الشِّحْنة الكهربائيَّة) تَقْذِفُه ذرَّةٌ أثناءَ اِضْمِحلالها. Beta particle

حادِثُ تصَهُّر حادثٌ يَسْخُنُ فيه وَقُودُ المُفاعل النوويّ بإفراطٍ بحَيثُ يَنْصَهِرُ وقد يَشُقُّ طريقَه حَرْفًا عَبْرَ قاعِ المُفاعِل. Meltdown

قضيبُ تحَكُّم قَضيبٌ يُخَفِّضُ في مفاعِلٍ نَوويٍّ لِيَمْتَصَّ نيوترونات ويُبَطِّئَ سُرعةَ التفاعُلات النوويَّة في المُفاعِل أو يُوقِفَه عن العَمل تمامًا. Control rod

الماءُ الخَفيف الماءُ العاديُّ – هـ٢أ (H_2O). Light water

الماءُ الثقيل أُكسيدُ الدوتِريُوم – ماء استُبْدِلَ فيه نَظيرُ الهِدْروجين الأثقلُ، الدوتِريُوم، بالهِدْروجين العاديّ. Heavy water

مَجْنُوكْس نَوعٌ أوَّليٌّ من المُفاعِلاتِ النوويَّة الغازيَّةِ التَّبْريد. Magnox

مُفاعِلٌ سَريع نَوعٌ من المُفاعِلاتِ النوويَّةِ يَسْتَخْدِمُ مَزيجًا من اليُورانيوم والپلوتونْيوم، كوَقُود. وتَحدثُ فيه الاِنْشِطاراتُ النوويَّةُ بواسِطة نيوترونات سريعةٍ لم تُبَطَّأْ سُرعَتُها كما تُبَطَّأُ في مُفاعلٍ حراريّ. Fast reactor

مُفاعِلُ الماءِ المَضْغوط نَمَطُ المُفاعلاتِ النوويَّةِ الحراريَّةِ الأشهَرُ والأكثَرُ استِخْدامًا. PWR (Pressurized water reactor)

مُفاعِلٌ مُتقَدِّم غازيُّ التَّبْريد نوعٌ من المُفاعِلاتِ الحراريَّة. Advanced gas-cooled reactor

مُفاعِلٌ نَوَويّ نَبيطةٌ يَجْري فيها تَفاعُلٌ نَوَويٌّ مُتَسلْسِلٌ مُتحَكَّمٌ به. Nuclear reactor

مُهَدِّئ مادَّةٌ داخلَ المُفاعِل الحراريِّ تُبَطِّئُ سُرعةَ النيوترونات بحَيثُ تَزْدادُ احتِماليَّةُ اِمْتِصاصِها مُسَبِّبةً انْشِطارَ ذرَّاتِ اليُورانيوم 235. Moderator

مُوَلِّدٌ تُربينيّ مُوَلِّدٌ كهربائيٌّ يُديرُه تُرْبين. Turbogenerator

نَظائر ذرَّاتٌ مِن العُنْصر نَفْسِه ذاتُ أوزانٍ ذَرِّيَّةٍ مُختلِفةٍ لأنَّ نَواها تَحْوي أعدادًا مُختلِفةً من النيوتْرونات. Isotopes

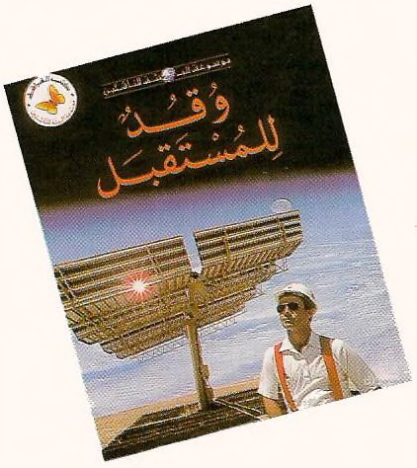
نَواة جُسَيْمٌ أو جُسَيْماتٌ في مَرْكزِ الذرَّة. يُوجَدُ في نَوَى الذرَّاتِ عادةً نوعان من الجُسَيْمات – پْروتُونات ونيوتْرونات. Nucleus

اليُورانيوم عُنْصُرٌ ثَقيلٌ يُسْتَخْدمُ وَقُودًا في المُفاعِلات النَّوَويَّة. Uranium

مَعْلوماتٌ إضافيَّة

كُتُبٌ لِلمُطالَعة

- المَوسُوعةُ العِلْميَّةُ الشامِلة – مكتبة لبنان ناشرون.
- مَوسُوعةُ التطبيقات العلميَّة المُيَسَّرة.
  - الآليَّات من الرَّافِعة إلى الحاسُوب – مكتبة لبنان ناشرون.
- مَوسُوعة البيئة لِلناشِئين
  - وُقُدٌ لِلمُستَقْبَل – مكتبة لبنان ناشرون
- المَوسُوعةُ العِلْميَّةُ المُيَسَّرة – مكتبة لبنان ناشرون



اِستِهْلاكُ القُدْرةِ والطَّاقة

القُدْرةُ هي قياسٌ لِسُرعة استِهْلاك الطاقة؛ وتُقاسُ بالجُول في الثانية أو بالواط. فقد تحتاجُ مِكواةٌ كهربائيَّةٌ إلى قُدْرةِ 1000 واط لِتَشْغيلها – فيما قد لا يحتاجُ راديو جَيْب لأكثَرَ من 10 واطّات. فالطاقةُ اللّازِمةُ لِتَشْغيل هٰذا الراديو ساعةً واحدةً لنْ تُشَغِّلَ المِكْواةَ أكثَرَ من سِتِّ أعشار الدقيقة، لأنَّ المِكْواةَ تستهْلِكُ طاقةً بسُرعةٍ تزيد 100 ضعفٍ على استِهْلاك جهاز الراديو.
الرَّسْمُ المُبيَّنُ إلى اليَسار يُقارِنُ مُعدَّلاتِ القُدْرة لأَجْهزةٍ كهربائيَّةٍ مَنْزليَّة ولِمَنْزِلٍ ولِمَحطَّةٍ لِتَوليدِ القُدْرة.

الفِهْرسُ العامّ

الأسلِحةُ النوويَّة 4، 9، 12، 40، 41
الإشعاعات 8، 12، 14، 19، 20-21، 23، 25، 38
الإضْمِحلال الإشعاعيّ 9، 10، 14، 15، 19
إعادةُ المُعالَجة 14، 15، 16، 17
ألْبِرت أَيْنشتَيْن 5
اِنْدماج نَوويّ 41، 42، 43، 44-45
أنْريكو فِرمي 9
اِنْشطار نَوويّ 4، 5، 7، 10، 11، 31، 32، 40
اِنْفجارات نَوويَّة 6، 21، 27، 41
البُخار 11، 27، 28، 29، 33، 38
البلوتونْيوم 12، 13، 17، 24، 25، 29، 32، 34، 40، 41
بيكريل 19
التأثير البيئي 18، 28
تَخْزين النُّفايات النوويَّة 14، 17، 24-25
تُرْبين 11، 28، 29، 31، 35
تَفاعُل مُتَسلْسِل 9، 11، 13، 29، 32، 41
تلَوُّث إشعاعيّ 19، 24، 27
توكَاماك 44، 45
الجِسْم البَشَريّ والإشعاعات 19، 20، 26، 27، 36، 37
جُسَيْمات ذرِّيَّة 4، 9، 14، 43
خامات اليُورانيوم 7، 12
ذرَّات 4، 5، 8، 9، 15، 45
السَّحْبُ من الخِدْمة 35
السَّرَطانات 21، 36
سُرعةُ الضوء 5، 14
سَوابِر فَضائيَّة 13، 39
سوپَرفينِكْس 34-35
العَناصِر 4، 6، 8، 9، 41
عَناصرُ وعُلَب ومُراوِدُ وَقُود 10، 11، 13، 14، 15، 17، 33
الغَوَّاصاتُ والسُّفُن 4، 31، 38، 39، 41
الفاعِليَّةُ الإشعاعيَّة 8، 9، 15، 17، 18، 19، 24، 26، 35، 36، 42
قُضبانُ التحَكُّم 11، 13، 27
قَنابلُ نَوويَّة 20، 40، 41، 42
كارثةُ تشرنوبِل 26-27
كُتْلةٌ حَرِجة 41
الكَهرباء 4، 6، 9، 13، 16، 28، 29، 31، 32، 34، 38، 39، 42، 45
كُوري 19
ماري كُوري 8
مُبَرِّد 11، 12، 31، 33، 34
مَحطَّاتُ القُدْرة 4، 5، 6، 7، 9، 10، 11، 12، 14، 15، 18، 22، 24، 27، 28-29، 42
مُفاعِل طُوروس الأوروبيّ المُشْتَرك 44-45
مُفاعِلات حراريَّة 29، 30-31
~ سَريعة 29، 32-33
~ كَنْدو 30, 31
~ الماء الخفيف 16
~ الماء المَضغوط 13، 30، 31، 38
~ متقَدِّمة غازيَّة التَّبْريد 17، 30
~ مَجْنوكْس 10-11، 12، 15، 30-31
~ مُوَلِّدة سَريعة 32، 34
~ نَوويَّة 9، 10، 12، 19، 27، 29، 30، 31، 32، 34، 35، 38-39، 42، 45
مُهَدِّئات 13، 31، 32
مُوَلِّدات 11، 28، 29، 31، 33، 38
النُّجوم 6، 42
النَّظائر 7، 20، 36، 40، 42
نُفاياتٌ نَوويَّة 14، 15، 18-19، 24، 32
نَقْلُ الوَقُود النَّوَويّ 14، 22
نَواةُ الذرَّة 4، 5، 6، 41، 42، 45
نيوتْرونات 4، 5، 8،10، 11، 12، 29، 32
وَقُودٌ نَوَويّ 6، 10، 11، 13، 14، 16، 17، 18، 22، 31، 32، 41
اليُورانيوم 4، 5، 6، 7، 8، 12، 14، 17، 22، 25، 29، 31، 32، 33
يو 235 وَيو 238 7، 10، 12، 13، 15، 31، 32، 33، 35

مَوسُوعَة الطَّاقَة المُستَدامَة

ليس خافيًا طبعًا أنّ مواردَ الطاقة من الفحم والزيت والغاز الطبيعي آيلةٌ إلى النَّفاد - رُبما ضمن أواخِر هذا القرن. وأنه من الضروري تَقصّي مَواردِ وُقُودٍ بَديلة أو تطويرُ مصادرِ طاقةٍ مُتَجدِّدةٍ، غيرِ مُلوِّثةٍ للجوِّ والبيئةِ حولَنا، بالسُّرعَةِ الكافية لِتلافي افتقارِنا مُسْتَقْبلًا إلى حاجاتنا الضرورية من الطاقة.

في هذه السِّلسلة من **موسوعة الطاقة المُستدامة** سنَتَحرَّى إمكانيةَ تَسخير القُدرةِ الشمسيَّة المُباشرة إضافةً إلى قُدرةِ الرِّياحِ والأنهارِ والبحارِ - بِمُسْتوًى كافٍ لِضمانِ تَوفيرِ احتياجاتِنا الضَّروريَّة المُستقبليّة من الطاقة.

هذا الجُزء من الموسوعة يتناول الطاقة النوويّة من حيث

- إطلاق الطاقة النوويّة من اليورانيوم
- تحويل الطاقة النوويّة إلى طاقة كهربائيّة
- التأثيرات الضارة للإشعاع النوويّ
- التخزين المأمون للنُّفايات النوويّة
- توليد قُدرةٍ نوويّة باستِخدام الماء الثقيل

في هٰذهِ السِّلسِلة

- الوَقُودُ الأُحفوريَّة
- القُدرَةُ الشَّمْسِيَّة
- القُدرَةُ النَّوَويَّة
- الطّاقَة الحَراريّة الأرضيّة وَالطّاقَة الحَيَويّة
- قُدرَة الرِّيَاح
- القُدرَة المَائيَّة

ISBN 9953-1-0481-6
9 789953 104812
NUCLEAR POWER
(ARABIC BUTTERFLY BOOKS)

مكتبة لبنان ناشرون